

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne



A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne



 EDITORA
Cia do eBook


CYSNE
SOUND ENGINEERING

Engº Luiz Fernando O. Cysne

A nova Bíblia do Som

1ª edição

2016

Apoio

CYSNE ENGINEERING LTD.



Copyright © 2016 por Luiz Fernando Otero Cysne A Cia do eBook apoia os direitos autorais. Eles incentivam a criatividade, promovem a liberdade de expressão e criam uma cultura vibrante. Obrigado por comprar uma edição autorizada desta obra e por cumprir a lei de direitos autorais não reproduzindo ou distribuindo nenhuma parte dela sem autorização. Você está apoiando os autores e a Cia do eBook para que continuem a publicar novas obras.

PRODUÇÃO

Cysne Engineering Ltd., USA COORDENAÇÃO EXECUTIVA Equipe do autor CAPAS

Klass Bennergard Productions (Sasseinheimstraat 36-III, 1059 – BJ, Amsterdam, Holland - 31 20 6157277) ARTE FINAL

Chico Stewart COMPOSIÇÃO

Cysne Publishing Co. e Cysne Engineering Ltd.

REVISÃO TÉCNICA Engº Alexandre Algranti DIAGRAMAÇÃO E PRODUÇÃO DO EBOOK
Cia do eBook ISBN

9788555850448

Todos os direitos reservados.

(Lei nº 5988 – artigos 122 e 130 de 14.12.1973 É proibida a reprodução total ou parcial desta obra, seja de que meio for (xerox, mimeografia, datilografia, gravação, cópias digitais a quaisquer títulos e outras) sem a permissão por escrito do autor ou dos editores.

Qualquer marca registrada ou nome de fabricante mencionado neste livro não implica em aprovação comercial de produto, assim como a ausência de qualquer nome de fabricante ou marca não deve ser entendido como desaprovação pelo autor.

Os circuitos esquemáticos, descrições de circuitos, especificações, e quaisquer outros dados contidos neste trabalho não podem ser considerados como permissões ou licenças para que pessoas físicas ou jurídicas fabriquem ou comercializem invenções patenteadas ou com patentes pendentes.

Embora a preparação deste trabalho tenha sido feita criteriosamente, o autor não assume responsabilidade por erros ou omissões, nem tampouco por prejuízos resultantes do uso das informações aqui contidas.

EDITORACIADO EBOOK

Rua Ataliba Souza Silva, 311

18860-000 - Conjunto Ermínio Maranhão Timburi/SP

Website: www.ciadoebook.com.br

Facebook: [@CiadeBook](https://www.facebook.com/CiadeBook)

Twitter: [@CiadeBook](https://twitter.com/CiadeBook)

Dúvidas ou sugestões: sac@ciadoebook.com.br

SUMÁRIO

[Capa](#)

[Espelho](#)

[Página de créditos](#)

[Introdução](#)

[Capítulo 1](#)

[Capítulo 2](#)

[Capítulo 3](#)

[Capítulo 4](#)

[Capítulo 5](#)

[Capítulo 6](#)

[Capítulo 7](#)

[Capítulo 8](#)

[Capítulo 9](#)

[Capítulo 10](#)

[Capítulo 11](#)

[Capítulo 12](#)

[Capítulo 13](#)

[Capítulo 14](#)

[Apêndice A](#)

[Apêndice B](#)

[Apêndice C](#)

[Apêndice D](#)

[Apêndice E](#)

[Apêndice F](#)

[Apêndice G](#)

[Apêndice H](#)

[Apêndice I](#)

[Sobre o autor](#)

[Informações sobre os próximos lançamentos](#)

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

introdução



Conteúdo da introdução

PREFÁCIO DA PRIMEIRA EDIÇÃO

INTRODUÇÃO DA PRIMEIRA EDIÇÃO

INTRODUÇÃO DA BÍBLIA DO SOM

INTRODUÇÃO DA NOVA BÍBLIA DO SOM

PREFÁCIO DA PRIMEIRA EDIÇÃO

Nas últimas cinco décadas a Acústica transmutou-se paulatinamente de arte em ciência e se dividiu em um número infindável de especializações e subdivisões, com aplicações que compõem um leque que vai desde a Medicina até a Física pura, passando pelo óbvio das áreas militar e da indústria do entretenimento. Isto... lá fora! Entre nós, todavia, ainda hoje, quando se fala em Acústica, a primeira imagem que nos surge é aquela da milenar Acústica Arquitetônica. De fato, no Brasil parques e rudimentares conceitos de Acústica são ministrados apenas nas escolas de Arquitetura, ela não é parte integrante do currículo-básico do engenheiro. Assim, o acústico, qualquer que seja sua formação, é antes de tudo um autodidata versado em inglês, alemão e japonês. Nestas línguas estão a caudal dos textos básicos e avançados. Praticamente não existem trabalhos originais ou traduzidos para a língua portuguesa.

O livro de Luiz Fernando O. Cysne é uma introdução específica à relação do equipamento eletrônico de sonorização e o ambiente acústico aberto/fechado e se destina primariamente ao projetista e instalador. Seu texto é claro, conciso, enxuto mesmo, e admite - antes de mais nada - que o leitor tenha um mínimo de embasamento em cálculo e a predisposição para o raciocínio encadeado. Esta não é uma obra para ser folheada. Se você, profissional dedicado a esta área, buscava uma obra séria, distante das generalidades e escrito em português, esta é a sua chance. Uma chance rara.

A primeira edição a que se refere este prefácio é a do livro “Áudio Engenharia e Sistemas”, inicialmente publicado no verão de 1989.

INTRODUÇÃO DA PRIMEIRA EDIÇÃO

Vivemos uma época em que o progresso tecnológico que impulsiona algumas áreas da atividade humana impressiona. Podendo chegar a entusiasmar, fascinar e até mesmo a causar medo.

A eletrônica é um exemplo vivo disso.

O desenvolvimento das telecomunicações havido ao longo do último século trouxe a reboque o desenvolvimento do que se convencionou chamar de engenharia de áudio.

Empresas como o Bell System e a RCA ofereceram contribuições inestimáveis para que tivéssemos o que temos hoje, co-participando decisivamente da implantação dos sólidos alicerces que sustentam esse campo emocionante. Simultaneamente, vamos encontrar nas páginas da história muitos e muitos nomes de famosos pesquisadores e cientistas, que praticamente devotaram suas vidas ao estudo da acústica, da física, da eletricidade, da eletroacústica, da mecânica, da química, *etc.* Estes, com suas conclusões e muitas descobertas também apresentaram contribuições significativas em profusão, transformando-se em verdadeiros astros de uma vastíssima constelação.

As técnicas digitais e o trabalho de pesquisadores contemporâneos, muitos dos quais continuam na ativa, têm enriquecido os conhecimentos na área do áudio de forma inequívoca. E a constelação segue aumentando.

Hoje em dia todo o progresso é fruto da capacidade de imaginação do homem, combinada com exaustivo e sério trabalho de pesquisa. O que é caro. Muito caro mesmo. E, além disso, exige pessoal altamente qualificado. Verdadeiros especialistas treinados anos a fio para desempenhar com sucesso suas funções. Por isso, pesquisas de porte, capazes de catalisar grandes transformações na humanidade como um todo e provocar mudanças estruturais para melhor no seio da sociedade só existem de forma ampla nos países desenvolvidos. É bem verdade que geralmente pagamos por parte disso. Mas trata-se apenas de uma das leis contingenciais da vida.

Como era de se esperar, no Brasil nos desenvolvemos mais em alguns setores da eletrônica do que em outros. De fato, há vinte e cinco anos era incrível o abismo existente entre os mercados de áudio doméstico no Brasil e nos países mais desenvolvidos. Esse abismo foi

praticamente transposto e superado. Hoje há apenas uma discreta diferença, que se torna mais acentuada ao nível dos produtos “state of the art”.

Cabe mencionar que nos períodos de dificuldades econômicas há retrações de mercado e mudanças dos hábitos de consumo. Isto aconteceu aqui. No momento em que estas linhas estavam sendo escritas a situação do mercado de áudio doméstico era tal que, exceto por um ou outro fabricante, os equipamentos modulares deixaram de ser produzidos. E as prateleiras das lojas se encheram de systems e dois e três em um. Mas pode-se afirmar sem medo de errar que ganhamos muito terreno no setor doméstico, como um todo.

Infelizmente não se pode dizer o mesmo do áudio profissional, voltado para a sonorização de ambientes, onde mal começamos a engatinhar. Como, com raras exceções, não temos produtos profissionais autênticos, mas apenas cópias de produtos profissionais fabricados no exterior - que, contudo, não chegam a seus pés - ou produtos projetados para uso residencial que sofrem adaptações improvisadas (às vezes só mesmo no seu design) para receber chancelas pomposas como profissional, pro, pro series, etc., diga-se de passagem, geralmente sem merecê-las, há mais do que um abismo quando se pensa em comparar equipamentos nacionais e importados para aplicação profissional. Há um verdadeiro deserto. E o mesmo acontece com a linha de acessórios profissionais.

Ainda assim, estamos progredindo. É com satisfação que notamos o empenho e a seriedade de algumas empresas nacionais, que procuram avançar e queimar etapas, mas tendo em mente a qualidade do produto final. Por outro lado, não podemos esquecer que a quantia investida em pesquisa passa necessariamente pela dimensão do mercado. Quanto maior é o mercado menos se paga de pesquisa por item adquirido. É apenas uma questão de economia de escala.

Vamos desde já conceituar mercado de áudio profissional como algo que exige necessariamente a aplicação de profundos conhecimentos de engenharia de áudio, a fim de atingir determinados objetivos, sempre comerciais e invariavelmente desvinculados do áudio visto como hobby.

O que estabelece definitivamente uma barreira entre nosso mercado profissional voltado para a sonorização de ambientes e o mesmo mercado no exterior é que aqui, na maioria das vezes, não fazemos as coisas adequadas e corretamente quando diante de grandes problemas.

Algumas poucas pessoas são exceções que confirmam a regra, e por seu idealismo e abnegação acabam importando (quando possível), ou produzindo artesanalmente ou semi artesanalmente equipamentos de qualidade superior aos “profissionais de rótulo” made in Brazil, para comercializá-los ou usá-los de acordo com o que aprenderam na prática e com estudos teóricos que tiveram oportunidade de fazer.

Ao longo dos capítulos seguintes procuro mostrar, a contragosto, e quando cabível,

algumas aberrações que resultam da combinação arrasadora da falta de conhecimentos mais sólidos com a falta de equipamentos. Frequentemente, nota-se um espírito aparentemente mercantilista, que repele preocupações com a qualidade. Essa mentalidade só encontra meio permeável para prosseguir, e só sobrevive quando as coisas são feitas com senso pouco profissional, muitas vezes estimulado pelo próprio cliente. Este, frequentemente subestima o trabalho a ser feito, e muitas vezes não entende que sonorizar é muito mais do que apenas juntar equipamentos. Infelizmente. E o que é pior, não é absolutamente algo feito com esse propósito. É apenas a decorrência da falta de conhecimentos: a grande lacuna.

O único motivo que me leva a apontar as aberrações mencionadas é chamar a atenção para o triste fato de sua existência, e mostrar como evitá-las mediante emprego adequado de ferramentas apropriadas.

É preciso notar que durante toda a fase áurea do desenvolvimento acelerado de nossos equipamentos domésticos criamos gerações de audiófilos, de entusiastas da alta fidelidade e do som. Boa parte destes procurou unir o útil ao agradável, curtindo o som como hobby e procurando fazer dele um meio de vida, e se possível, também uma profissão.

Alguns começaram gravando e reproduzindo fitas cassete, outros preferiram trabalhar com fitas de rolo para reprodução em bares, boates, danceterias, *etc.*

Muitos iniciaram sonorizando festas e pequenos eventos. E até mesmo grandes eventos.

Durante as últimas campanhas políticas, foram muitos os que se envolveram com sonorização de comícios e até de veículos usados em divulgação política.

Outros começaram sonorizando ambientes. E assim por diante.

A maioria dessas pessoas trabalhou e ainda trabalha com grande insuficiência de informações, e até sem informações. Ou seja, na presença da grande lacuna.

A persistir essa lacuna, penso que, independentemente do esforço que possam fazer, esses indivíduos terão o seu caminho rumo à profissionalização, mais íngreme, mais árido, e acima de tudo, menos profícuo.

Os proprietários dos locais a sonorizar estão preocupados, algumas vezes, apenas com a qualidade. Mas muitas vezes só se preocupam com o investimento no sistema. Os dois enfoques me parecem incorretos.

Creio que melhor seria se essas pessoas se baseassem mais nas relações custo/benefício. Para tanto, é imprescindível que as necessidades de cada caso sejam muito bem definidas. O engenheiro de áudio pode auxiliar o proprietário nessa etapa de definição de necessidades. E deve dizer se é possível atendê-las ou não, e, neste caso, encontrar meios para mostrar ao proprietário até onde é possível atendê-lo. Evidentemente, o engenheiro de áudio tem a tarefa de atender as necessidades de seu cliente, ou chegar o mais próximo possível delas, na medida

em que as condições permitam, sempre com o mínimo de investimento.

Se o cliente entende que não vai pagar mais do que precisa para ter suas necessidades atendidas, dificilmente impedirá o desenvolvimento de todo um trabalho feito exclusivamente com esse único objetivo.

Ao contrário, a experiência mostra que ele passa a valorizar o trabalho, e a oferecer todos os subsídios para que ele seja desenvolvido com o mínimo de obstáculos.

Por outro lado, a literatura existente a respeito de sonorização profissional e escrita em português é escassa, e ainda assim dispersa, pois que se apresenta principalmente aos trechos na forma de pequenas matérias ou artigos, e não de um único assunto, integrados os seus diversos aspectos, compondo um todo.

Sou e acho que sempre serei um estudante. Sem dúvida um pouco mais velho que a maioria. Mas provavelmente um pouco mais experiente também.

Essa experiência advém principalmente de mais de vinte e cinco anos, dos quais dediquei boa parte - por opção e por força de minha profissão - à acústica, à eletroacústica e ao áudio.

Nessas circunstâncias me vi inexoravelmente compelido a elaborar o presente trabalho na terrível expectativa de que ele possa ajudar a preencher a grande lacuna, e que dessa forma possa servir como subsídio para todos aqueles que ingressam no mercado de áudio profissional, e também para todos os que estão ou venham nele ingressar.

Um projeto específico é condição “sine qua non” para que se possa garantir a qualidade de sonorização de um ambiente qualquer, aberto ou fechado.

Elaborar um projeto de sonorização exige do projetista amplos conhecimentos de engenharia de áudio, de acústica, e muita prática.

No Brasil muita gente tem prática. Pequenos grupos se formam diariamente, adquirem equipamentos e iniciam alugando som para festas e bailinhos.

Progridem e vão em frente de verdade. Mas poucos são os que conhecem engenharia de áudio e acústica.

Nem poderia ser diferente, pois as matérias dessas áreas são pouco divulgadas e praticamente não constam dos currículos escolares oficiais.

Isso explica a mediocridade que encontramos diariamente em boa parte das sonorizações ambientais feitas neste país. De pequenos restaurantes a grandes ambientes.

As baterias das escolas de samba, que desfilaram no carnaval de 1.985, encontraram incrível dificuldade em manter ritmo e andamento musical, porque o eco as atrapalhava, constituindo-se numa espécie original de efeito print-through de origem acústica.

Num dos shows da consagrada artista Gal Costa, no Morumbi, em São Paulo, o desabafo ao final do espetáculo foi que a qualidade da apresentação havia sido muito prejudicada, pois

nem mesmo ela podia se ouvir?!!

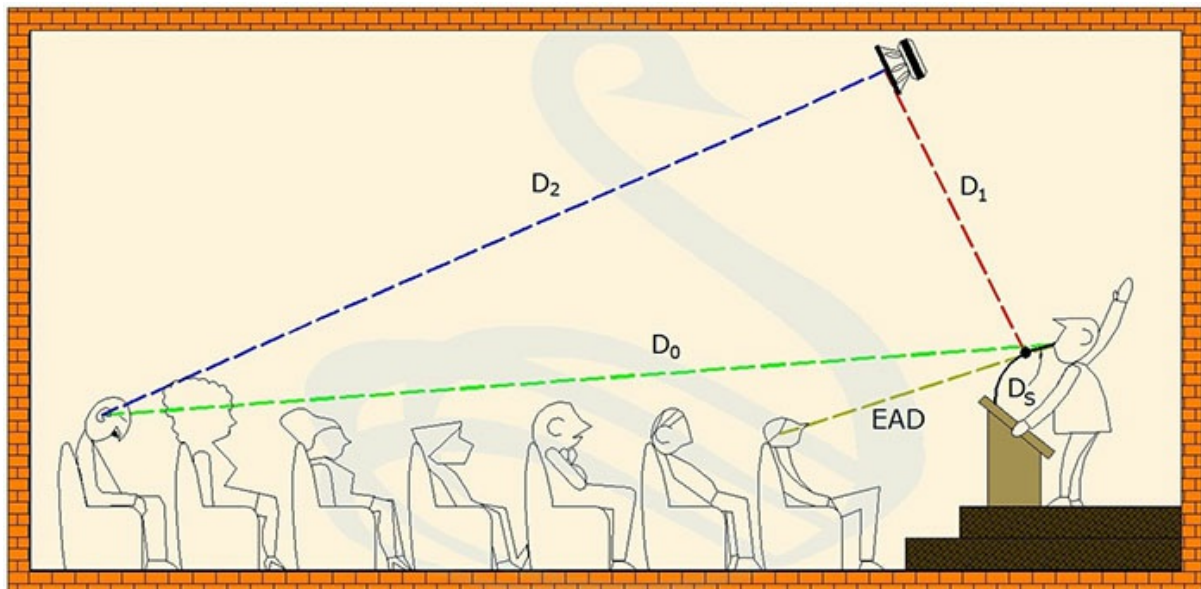


figura I.1 Exemplo de sistema de reforço de som e suas distâncias mais importantes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Poderia continuar indefinidamente com exemplos semelhantes.

É considerando esses fatos que dedico este trabalho especialmente aos que dispõem da prática como ferramenta única de trato com problemas que podem chegar à alta complexidade.

Tanto quanto possível elimino as filigranas matemáticas, lembrando entretanto que trabalhos em engenharia de áudio e acústica requerem boa habilidade numérica e disposição para enfrentar algumas fórmulas matemáticas.

Como a habilidade numérica deve estar orientada para os logaritmos, apresento no capítulo 2 o resumo dessa teoria e de sua aplicação prática, os decibéis.

Recomendo sua leitura integral a todos os que não se sintam familiarizados com ela, antes mesmo de avançar além deste ponto.

O termo sonorização, doravante empregado, tem sentido essencialmente profissional.

Não se pretende tratar de sonorizações domésticas, mas de recintos como lojas, restaurantes, auditórios, discotecas, hotéis, ginásios, arenas, *etc.*

Em outras palavras, de ambientes abertos e fechados em geral, que não façam parte de uma residência.

Para melhor nos situarmos com relação à sonorização, vamos entendê-la por ora como sendo um sistema de reforço alimentado por um ou mais microfones, e/ou por um ou mais subsistemas de registro de som, como decks, gravadores, toca-discos ou ainda transmissões radiofônicas.

Tomando-se como exemplo um simples caso de sistema de reforço alimentado por um microfone, podemos esquematizar o arranjo da figura I.1.

As distâncias indicadas na figura são: **D_s** entre microfone e boca do orador **D_1** entre microfone e projetor de som **D_2** entre projetor de som e ouvinte **D_0** entre boca do orador e ouvinte Para todos os efeitos, quando nos referimos às distâncias D_2 e D_0 estamos pensando

sempre no ouvinte mais afastado da caixa acústica e do orador, respectivamente.

Luiz Fernando Otero Cysne A primeira edição a que se refere esta introdução é a do livro “Áudio Engenharia e Sistemas”, publicado no verão de 1989

INTRODUÇÃO DA BÍBLIA DO SOM

Como mencionado nas observações anteriores, a primeira edição deste livro foi publicada no verão de 1989/1990. Mas a redação do texto original estava praticamente concluída cerca de dois anos antes, ou seja, no verão de 1987/1988. Portanto, desde então já se passaram quase duas décadas.

Durante as quais o texto não foi revisado. Ou sequer retocado.

Ao longo desse período muitos leitores e amigos foram me alimentando com idéias, comentários, críticas e sugestões. Enfim, informações. Que tratei de guardar e de colecionar de forma sistemática. Para uso na ocasião da revisão, que haveria de ser feita mais tarde ou mais cedo.

Além disso, duas décadas é muito tempo diante de uma tecnologia tão ágil e mutante, como é a engenharia de áudio. Ou a eletrônica, na qual ela também se apóia.

Por isso mesmo penso que já não era sem tempo proceder a uma revisão de profundidade no texto original. De maneira que o produto final resultasse melhor, mais profundo e, acima de tudo, atualizado.

Imaginei que a primeira coisa a fazer seria a leitura da Introdução da Primeira Edição. O que fiz.

Após refletir bastante sobre o que havia escrito há quase vinte anos concluí com alguma surpresa que, exceto pela ratificação que apresento adiante, as idéias ali esboçadas, e mais do que isso, seu significado global, ainda eram massacrantemente atuais. Bem, aí estão os fatos. Ao menos como eu os vejo.

A conclusão seguinte foi que, neste caso, atualizar não seria exatamente substituir coisas antiquadas por outras, que as sucederam no tempo. Claro que isso também estava em minha pauta. Mas não na quantidade que era de se esperar. Então comecei a entender que, neste caso, atualizar teria que ser muito mais no sentido de complementar do que de substituir.

E nessa direção, complementar não deveria ser apenas introduzir aspectos novos, que só emergiram mais recentemente. Mas também, desenvolver assuntos que foram abordados apenas superficialmente no texto original.

Claro que não cheguei a essa conclusão sozinho. E essa é, nitidamente, uma força muito positiva que resultou da realimentação sadia, como a que recebi.

O melhor termo que posso encontrar para descrever o que realmente senti com essa troca

profícua, é uma **tremenda sinergia**.

Portanto, aproveito para agradecer a todos esses colaboradores anônimos e amigos que muito contribuíram para dar uma nova forma a este trabalho.

Do ponto de vista do áudio profissional, uma das diferenças mais marcantes entre a situação que vivemos hoje, e a que vivíamos há uma década, é o resultado da abertura de mercado pela qual estamos passando. Penso que como decorrência direta disso, temos atualmente uma multitude de opções de aparelhos, equipamentos e tecnologias, além de um contato mais fácil com as empresas de fora.

Também levando isso em conta, mais do que uma atualização, o novo texto é uma peça muito mais abrangente do que o anterior.

Com efeito, muitas coisas novas foram incluídas.

Meu dia a dia sinaliza claramente que muita gente que dedica a vida ao som, praticamente só associa o áudio profissional a grandes sistemas de reforço, especialmente aqueles utilizados durante shows musicais.

Se estou certo, essas pessoas ou desconhecem ou não vêem quaisquer perspectivas numa gama de aplicações de produtos e sistemas. Que é fantasticamente grande. E posso lhes garantir, há mercados enormes para cada uma delas. E o melhor, são mercados ávidos por bons serviços.

Desse modo, o capítulo inicial desta edição é uma discussão relativamente ampla sobre a maioria dos diferentes gêneros de sistemas de sonorização profissional em uso pelo mundo.

Na seqüência, discutimos alguns aparelhos com os quais, penso eu, a maioria de nós não está muito familiarizada. A exemplo dos mixers automáticos e de suas aplicações.

Porém, antes de prosseguir gostaria de mencionar algo bastante pertinente. Sobre a eterna controvérsia entre sistemas permanentes e não permanentes.

Quem viaja com uma certa regularidade para o exterior, observa que lá, de modo geral, praticamente todos os ambientes fechados como cinemas, teatros, auditórios, casas de espetáculo, casas de música, e outros tantos, são equipados com sistemas permanentes.

E ainda sobra uma gorda fatia de mercado para os sistemas não permanentes.

No caso do Brasil, exceto pelos cinemas, a maioria dos demais lugares não possui sistemas permanentes.

Ao mesmo tempo, todos os locadores com os quais conversei, grandes, médios e pequenos, me afirmam que o mercado de locação fica mais difícil a cada ano que passa. Acredito neles.

Mas ao mesmo tempo, vejo nisso uma situação paradoxal. Intrigante mesmo. E não sei bem onde encaixar as coisas que ouço desses amigos. Mesmo acreditando, por vezes o que eles me contam soa terrivelmente estranho.

Uma porque, no Brasil, muitos sistemas não permanentes são utilizados onde lá fora dificilmente seriam.

Outra porque, teatros são construídos às dezenas, auditórios aos milhares, as casas de espetáculo e de música proliferam, e ainda por cima, modismos como danceterias, lambaterias, pagoterias, bingos e tantos outros mais, ou vão se sucedendo, ou se somando.

Isso para não falar nos espetáculos cada vez mais badalados promovidos de norte a sul pelas prefeituras de nossas muitas cidades, e também por empresas ou grupos privados. E que tal os mega espetáculos, com os quais já nos habituamos a conviver?

Essas também são razões pelas quais os representantes de marcas estrangeiras se multiplicam. As vezes chego a pensar que nós, brasileiros, estamos completamente entregues ao vício de reclamar como forma de passar nosso tempo.

Bem, não creio que sistemas permanentes e não permanentes sejam coisas substitutas. Ninguém pensaria em instalar um sistema permanente de sonorização no Maracanã, ou no Pacaembú, só para atender shows de rock ou atividades religiosas eventuais.

Embora se pense e se monte sistemas não permanentes para casos típicos de aplicações permanentes, penso que todos concordarão que os resultados nos dois casos não podem ser comparados. Com as devidas exceções, que fazem parte das regras, poderíamos usar a figura de comparar uma roupa meia confecção com outra, feita sob medida pelo alfaiate esmerado, com direito a provas e retoques.

Entretanto, no momento tenho que escrever o que penso.

Acredito que nesta quadra da economia brasileira haja mercado abundante para todos. Locadores, Peazeiros, Permanenteiros e todos os outros.

Mas o progresso costuma cobrar seu preço. Especialmente dos que não se preparam para oferecer produtos e serviços com qualidade sempre em alta e preços sempre em baixa.

Vocês entenderiam o que sente um cliente quando passam por uma situação como a que passei recentemente. Há poucos meses havia visitado um fabricante de componentes eletrônicos e eletromecânicos. Um soquete de válvula octal era vendido por ele por R\$ 0,64. Dia seguinte, passeando pela Santa Ifigênia, vi o mesmíssimo produto do mesmíssimo fabricante numa loja. Preço? Apenas R\$ 4,60.

Dá prá imaginar o que ocorre com outros produtos comercializados, não?

Em minha opinião, além disso ser desonestidade, ou incompetência, ou ambos, é dedicar ao cliente, que muitas vezes é também um freguês, um autêntico tratamento de otário e desinformado.

O que fazer? Não tenham dúvida.

Não comprar mais nada no lugar. Por mais que possamos precisar. Penso que é hora de

adotarmos hábitos que em outros lugares já são práticas vencedoras há muito tempo.

E tirar daí uma lição das mais importantes.

Não cometer a mesma burrice.

Ganhar dinheiro e ter lucro é muito sadio. É apenas o resultado merecido de nosso esforço. Mas não devemos confundir as coisas, perdendo de vista o bom senso nem a ética profissional. Ou jamais seremos bons profissionais. Apenas enganadores. Talvez ainda pior, enganadores profissionais.

Oferecer melhores produtos geralmente não significa oferecer o mais caro, mas quase sempre o mais adequado.

E oferecer melhores serviços significa atingir o objetivo com muito capricho, mais rapidamente e com mais pontaria. Consequentemente, com menos tempo gasto e menor custo.

Mas isso requer preparo. Técnico, administrativo e mentalidade voltada para o cliente. É indispensável que entendamos qualquer situação, simples ou complexa, pela ótica exclusiva do cliente.

Só desse modo ele procurará interpretá-la pela nossa. Então, a redução de divergências torna-se bem mais fácil.

Um bom começo é reclamar menos e trabalhar mais. De preferência não reclamar. Mesmo quando hajam motivos. Assim, certamente o tempo rende mais.

Penso que o bom profissional, independente do que faz, deve saber avaliar cada caso e aconselhar seu cliente no caminho que lhe parecer mais correto. Mesmo que seus interesses imediatos possam ser contrariados. Acreditem, a recompensa virá de uma forma ou de outra.

Voltando para a atualização deste livro, tratamos dos decibéis no segundo capítulo.

O terceiro capítulo é dedicado à acústica. Que agora vem com roupagem nova e conteúdo bem mais abrangente. De fato, muitas coisas foram incluídas ao texto original. Por exemplo, agora discutimos mais detalhadamente os ressonadores Helmholtz, os difusores QRD e outros dispositivos.

O texto original era bastante econômico em matéria de aparelhos e equipamentos. Com efeito, as únicas coisas lá tratadas eram os falantes e as caixas acústicas.

Por isso, o quarto capítulo desta edição, no qual discutimos equipamentos, é totalmente novo. Nele falamos das fontes de programas, aí incluídos os microfones, discutimos os mixers e as consoles de mixagem, todos os processadores de sinal, inclusive os digitais, amplificadores, crossovers, falantes e caixas acústicas, sistemas controlados, cabos e fibras óticas, além de bastidores, ou racks, e acessórios.

No quinto capítulo discutimos os ambientes abertos e fechados, como no texto original. Mas agora, com molho bem mais picante.

O sexto capítulo é voltado para os projetos de sistemas. Na edição anterior, caracterizei projeto como sendo exclusivamente o dimensionamento de sistema. Nesta, o sentido dado ao termo projeto é bem mais amplo. Além do dimensionamento, agora são discutidos todos os demais ingredientes de um projeto executivo completo, a exemplo das arquiteturas de sistema, dos diagramas de blocos, dos projetos de instalação e de toda a documentação técnica que pode tornar um projeto uma peça realmente profissional.

Um dos aspectos mais marcantes que caracterizaram a evolução do áudio nesta última década foi o vasto ferramental de software desenvolvido para facilitar as coisas para os engenheiros e técnicos de áudio.

Isso é especialmente aplicável no que se refere ao dimensionamento dos sistemas.

Estou falando de produtos caros. Mas o projetista que cobra por seus trabalhos sabe avaliar bem o tempo que precisa se dedicar apenas a um projeto. E quando pensa nisso, sabe que aqueles produtos caros possibilitarão grande economia de tempo.

E simultaneamente, grau aceitável de acuidade nos cálculos.

Mas paradoxalmente, é precisamente nesse aspecto que muitos se enganam. Quando julgam que por possuir um software desses estão em condições de elaborar projetos perfeitos. O que pode ser um engano de proporções práticas indigestas. Até mesmo fatais.

Sem dúvida, esses programas são muito úteis. E assim como cada um deles apresenta seus próprios pontos fortes, os fracos também estão lá. E o que é comum a todos. É indispensável uma boa dose de interpretação humana. O que significa que o trabalho executado pelo computador, do qual resulta diretamente o ganho de tempo a que me referi, deve ser monitorado de muito perto.

Assim, ainda no capítulo sexto, fazemos uma análise dos principais programas disponíveis, com o que tentaremos entender o que se pode e o que não se pode esperar de cada um deles.

O sétimo capítulo é integralmente dedicado aos clusters. Quais são seus segredos, e como obter bons resultados em montagens fly, e outras. Esse capítulo foi incluído por duas razões. Uma porque reputo o tema como algo fundamental e especialmente importante para o homem de áudio. Outra porque não encontrei a matéria com a profundidade que julgo adequada em qualquer outro livro de áudio. Daqui ou do exterior. Por isso, discutimos técnicas de clusters utilizadas para obter aumento de pressão sonora por vários efeitos. Discutimos também como controlar a diretividade com pilhas e matrizes Bessel. Enveredamos pelo sempre em pauta assunto da customização versus não customização. Falamos de técnicas construtivas, de line-array e por aí vai.

A interligação de equipamentos é a tônica do capítulo oitavo. Aí estão os principais fundamentos básicos, as análises das interligações quanto ao balanceamento, quanto às

impedâncias, quanto às topologias dos circuitos, quanto aos níveis dos sinais, além de uma discussão bastante ampla sobre algo que por vezes mostra-se bastante problemático. As interligações entre amplificadores e falantes. Tudo sob uma ótica prática, aplicável a sistemas de quaisquer portes. De quebra, este capítulo inclui uma discussão laite, mas bastante abrangente, sobre impedâncias. O que elas são conceitualmente, qual sua influência sobre a transferência de energia de um aparelho para outro, e assim por diante.

O capítulo nono é dedicado à Interferência Eletromagnética (IEM). São analisados tópicos sobre as condições em que ela se manifesta, como identificar problemas, e mais importante, as técnicas de combate a esse mal, que tem assolado instalações eletrônicas em geral nos quatro quadrantes do planeta Terra. Inclusive em aeronaves e satélites.

No capítulo 10 discutimos a instalação dos sistemas. Como planejar essa atividade, quais são os recursos de apoio necessários em escritório e na oficina, e como realizar os trabalhos em campo. Também falamos sobre como organizá-los e sobre como trabalhar visando eficiência e esmero.

Os testes de sistemas estão no capítulo 11. Cobrindo cada uma das várias etapas de testes. O que pode ser feito antes da entrega dos produtos aos clientes. Também discutimos os testes de sistemas em campo. Com individualização para testes de fiação, de aparelhos, de conexões, e de sistemas.

No capítulo 12 falamos do alinhamento de sistemas. Com discussões detalhadas de alinhamento elétrico, incluindo polaridades, estruturas de ganho, equalização - discutida em profundidade -, ajustes de processadores, e alinhamento mecânico. Atendendo a reiterados pedidos, incluo neste capítulo um circuito de instrumento testador de fases. Sim, o “phase checker”. A insistência com isso foi tanta que se não fizesse isso ficaria com a consciência pesada.

No capítulo 13 discutimos os sistemas de energia. Inclusive suprimento técnico dedicado. A infra-estrutura também é objeto do capítulo 14, mas agora relacionada com as redes de eletrodutos, caixas infra-estruturais e pertences. Inclusive como projetá-las.

O apêndice A é um glossário, outra coisa que muitos me pediram. Bem, aí está.

O apêndice B é uma discussão específica sobre sistemas de alta impedância/voltagem constante. O que também foi objeto de muitas solicitações, inclusive de algumas empresas instaladoras industriais. OK, voilà.

O apêndice C é a introdução às técnicas digitais, em termos semelhantes aos do texto original da primeira edição. Mas agora, com uma nova perspectiva. Mais profunda, mais prática, e provavelmente, mais didática.

Outra coisa que foi integralmente adicionada: a Espectrometria por Atraso de Tempo

(EAT) e os analisadores TEF. Que estão no apêndice D.

O tema do apêndice E é o Milagre do Ouvido Humano. Este texto está dividido em dois trechos. Inicialmente, há uma introdução descritiva, que aborda com certa profundidade a parte anatômica de nossa ferramenta mais valiosa. Esse trecho é seguido de outro, com as principais propriedades auditivas do ser humano. Em minha opinião, estas devem ser muito bem conhecidas por quem de fato deseja se aprofundar na engenharia de áudio.

O apêndice F é uma relação atualizada dos coeficientes médios de absorção acústica.

O apêndice G relaciona figuras, expressões e tabelas encontradas ao longo de todo o trabalho. Achei que essa seria uma boa base de referência para consulta, uma vez que o texto inclui mais de 600 figuras, além das muitas expressões e tabelas.

O apêndice H introduz o assunto FFT, ou Fast Fourier Transform.

Creio que esta é uma oportunidade imperdível para mostrar que não estamos diante de um bicho de sete cabeças, mas de um raciocínio extremamente simples. Que por sua roupagem matemática rebuscada até pode assustar muita gente. Estes verão agora como as coisas são simples. Se quisermos que elas sejam.

No apêndice I relaciono a bibliografia completa que utilizei durante a elaboração deste trabalho. Sua inclusão é uma justa e modesta homenagem que faço a todos os autores citados, aos quais manifesto aqui minha consideração e respeito. Não tenho dúvidas de que essa relação será de excepcional utilidade e uma riquíssima fonte de referências para todos os que queiram se desenvolver mais em áudio, partindo de obras excelentes, e internacionalmente tidas como muito sérias.

Por isso mesmo, com muita tranquilidade recomendo cada uma delas.

Não sei se conseguirei incluir ao final do trabalho, no apêndice J, um índice remissivo. Isso porque o trabalho que estou tendo para elaborá-lo criteriosamente por ordem de assuntos é indescritível. O que faço para que o leitor possa rastrear e encontrar mais facilmente a maioria dos assuntos relacionados com o texto desta obra.

A Internet é uma excelente opção para quem deseja mais informações ainda. Lá está um verdadeiro arsenal de dados sobre áudio. Algumas pessoas me pediram para incluir endereços. Mas se o fizesse, certamente estaria deixando de relacionar muitos deles. Portanto, estaria tendendo ao parcial. Para evitar isso deixo a tarefa para a imprensa especializada. Que, dada a extrema agilidade que lhe é peculiar, pode fazer o trabalho mantendo uma atualização praticamente ininterrupta.

Chamo a atenção dos meus caros leitores que na Internet há textos excelentes como também há os deploráveis. Infelizmente. E não há como separar o joio do trigo à priori.

Seria muito injusto terminar esta nova introdução sem retificar um aspecto contido na

introdução da primeira edição, que me pareceu ter sofrido mudança de vulto na década que passou.

Há dez anos atrás escrevi que infelizmente apenas havíamos começado a engatinhar com o áudio profissional, voltado para a sonorização de ambientes. Escrevi que, com raras exceções, não tínhamos produtos profissionais autênticos, mas apenas cópias de produtos profissionais fabricados no exterior que, contudo, não chegavam a seus pés. Também escrevi que quando se pensava em comparar equipamentos nacionais e importados para aplicação profissional, o que havia era mais do que um abismo. Um verdadeiro deserto. E que o mesmo acontecia com a linha de acessórios profissionais.

Bem, isso é coisa do passado.

Portanto, quero falar um pouquinho da atual indústria brasileira de equipamentos e acessórios. Foi com muita satisfação, e acima disso, com muito orgulho, que notei uma mudança radical nessa área, em comparação com o que via há dez anos.

Quero cumprimentar a todos os empresários industriais do áudio de todo o Brasil. Desde o proprietário da mais modesta ME, aos donos das indústrias de porte, que vemos progredir, prosperar, e crescer. Por sua coragem e persistência. Enfrentando problemas de todas as ordens. No momento em que estas linhas foram escritas, convivendo com a taxa de juros mais elevada do planeta. Muitas vezes enfrentando concorrência desleal de produtos “importados”. Pagando tributos que constituem fardos pesadíssimos, e por vezes, desanimadores.

Cumprindo exemplarmente sua função social, especialmente ao treinar mão de obra desqualificada. Ao ponto de gerar técnicos com tanta ou mais qualificação que a de profissionais de países mais evoluídos. É aí que entra o mundialmente reconhecido e invejado jogo de cintura do profissional brasileiro. Por circunstâncias, somos obrigados a tirar água de pedra. E como estão mostrando esses empresários, nós tiramos. De fato tiramos.

No que pese o elenco de obstáculos, a maioria desses empresários tem produzido resultados concretos.

Posso lhes assegurar que hoje dispomos de equipamentos e acessórios que, tudo por tudo, são melhores e mais baratos do que muitos dos concorrentes de outras bandeiras. Alguns dos quais melhoraram, enquanto outros pioraram. E praticamente se comoditizaram. É usar para crer.

Portanto, insisto em convidá-lo a ponderar sobre a idéia de que estamos no limiar de uma nova era do áudio no Brasil. Na qual muitos dos produtos verde e amarelos serão tecnicamente compatíveis, e até melhores do que similares importados. Com preços competitivos. E até mesmo inferiores. Com algumas vantagens, a exemplo da assistência técnica mais próxima e da disponibilidade mais imediata.

Coisa semelhante também ocorre no setor de serviços.

Aqui, o aumento geral da qualidade nesta última década foi notável. Os brasileiros que mais e mais freqüentam com assiduidade as convenções da AES, da NAB e de tantas outras associações no exterior, aumenta muito a cada ano. Isso, e mais a marcante presença da AES no Brasil, feliz realidade já consolidada, tem contribuído para que vejamos tudo de uma perspectiva bem mais profissional. Como sempre tivemos pouco, agora comemos estrada muito mais rapidamente do que técnicos e engenheiros de fora. Um alívio respirar esse ar tão oxigenado.

Não poderia deixar de saudar cada um dos veículos que compõem a imprensa especializada brasileira. Pelo relevante trabalho que vem sendo feito. Pela rápida melhora de seus produtos. Que se é notável na parte gráfica é sobretudo evidente na qualidade da informação. Sempre séria e cada vez mais profunda e sintonizada com as necessidades da comunidade brasileira do áudio.

Este é um exemplo claro de que, exceto pela quantidade e variedade de títulos, podemos fazer coisas tão boas ou melhores do que se faz lá fora. E ainda mais legal, são coisas totalmente direcionadas para nós, que vivemos ao sul do equador. Tudo isso se aplica indistintamente a todos os veículos. Mas quero registrar meu carinho todo especial para com a Áudio, Música e Tecnologia, do meu irmão Sólon do Valle, e para com a Backstage, do meu outro irmão, Nelson Cardoso. Obrigado pela obra gigantesca que vocês têm feito pela música e pelo áudio, e pelo serviço que tem sido prestado ao Brasil, em cada um de seus mais remotos cantinhos. Por favor, continuem assim. Porque tem valido a pena mesmo! E que Deus os ilumine e abençoe para seguir com essa dura mas reconfortante missão.

Posso dizê-lo sem medo de errar, pois isso é o que me dizem os alunos dos meus cursos de áudio. Especialmente aqueles que se deslocam milhares e milhares de quilômetros só para poder passar alguns dias conosco no Haras, durante os quais só falamos, comemos e respiramos áudio.

Essa gente interessadíssima conta com as informações de nossas revistas como elo único entre o que querem e o que está disponível.

Isto posto, dou por encerrada estas linhas iniciais. Com a ajuda de Deus.

INTRODUÇÃO DA NOVA BÍBLIA DO SOM

Lá se vão dez anos certinhos de quando escrevi a introdução para a Bíblia do Som.

Aqueles que acompanham meus trabalhos em revistas e com os livros sabem que o salto do meu primeiro livro “Áudio engenharia e Sistemas” para a “Bíblia do Som” foi enorme.

Afinal, a ideia com o Áudio Engenharia e Sistemas era abordar apenas aspectos superficiais da engenharia do áudio.

Como disse antes, a mudança de sair da rota de focar apenas aspectos preliminares para entrar na de aprofundar bastante os conceitos e, principalmente, abordar detalhes de equipamentos, foi uma imposição geral de muitos leitores, dos meus alunos e de muita gente que mora em locais bem afastados das capitais, onde é mais difícil obter informações de produtos de dois fabricantes.

Claro que hoje em dia com o advento da Internet isso não é mais verdade. Mas é preciso considerar um fato. De tantos capítulos de um único livro, apenas um deles é totalmente dedicado aos equipamentos. Permita-me esclarecer. Nesse capítulo voltado para os equipamentos, não entro muito nos aspectos de marcas nem de modelos, mas sim trato de conceitos relacionados de perto com os equipamentos.

Por essa razão esse capítulo foi mantido. A rigor ele não foi só mantido, ele foi atualizado.

Como era de se esperar, depois de uma década a eletrônica mudou radicalmente. Ninguém pode mais alegar que a simbiose entre o analógico e o digital está em evolução. Porque o digital chegou de vez. Passou a fase dos preços elevados. Agora, digital também significa preços acessíveis. Ao contrário do que acontecia dez anos atrás.

Aliás, essa é uma das tônicas da atualização de todo o trabalho.

No capítulo 1, que trata dos diferentes sistemas de som, as mudanças não são poucas. Por exemplo, no tópico referente a sistemas para cinemas, introduzi dois conceitos, ambos muito em voga atualmente: o sistema de som para IMAX e o glamoroso sistema de som Dolby Atmos. A ideia de usar sistemas multicanais em cinema já completou 80 aninhos de vida. Só que agora a Dolby encontrou uma fórmula em linha com a tecnologia e que pode ser considerada acessível.

Em virtude disso é relativamente fácil prever que esse será o próximo passo dos cinemas na direção de sistemas de áudio absolutamente mais envolventes.

Os sistemas de segurança também foram retocados. Isso porque, depois da Copa do Mundo de 2014, todos os sistemas de som implantados nas novas arenas construídas foram orientados

pela ótica da FIFA, que é desses sistemas serem essencialmente uma das colunas dorsais do aparato de segurança.

Ainda no capítulo 1, temos o tópico dos sistemas digitalmente controlados. Assim, fui obrigado a retocar essas linhas, para introduzir novos conceitos de controle digital de sistemas. Talvez fosse melhor alterar o significado do termo “controle digital” para uma ampla digitalização dos sistemas que, em seu bojo, embute o controle.

Para concluir as mudanças desse capítulo 1 introduzi mais um tópico, que é o ASE – Áudio Sobre Ethernet.

Dada a tremenda importância desse assunto, as linhas dedicadas a ele, sozinhas, praticamente quintuplicaram as páginas do capítulo 1 original, como elas estavam na Bíblia do Som. Ou seja, as 21 páginas originais aumentaram para cerca de 95, quase que exclusivamente por conta desse tópico.

Como ele é relativamente novo para muitos, começo discutindo suas vantagens em relação aos sistemas convencionais.

Na sequência, entro no assunto redes. Faço isso de maneira bem detalhada por uma razão bem simples. Quando comentei isso com alguns especialistas em TI ouvi o seguinte argumento: - Você vai perder tempo escrevendo sobre um tema que é por demais conhecido.

O que é verdade. Mas não toda a verdade. Esse argumento não revela o fato de que qualquer rede Ethernet utilizada em áudio necessita de recursos específicos nem sempre necessários nas aplicações mais comuns de informática.

Quem não sabe disso pode contratar um especialista em rede, seja ele um profissional ou uma empresa, e receber um belo projeto que não atenderá as necessidades de um ASE.

Vou dar um exemplo. O switch utilizado em ASE **precisa** ser gerenciável e deve ter facilidades especiais de bloqueio.

Além disso, entendo que se o profissional do áudio pretende trabalhar com ASE, então, necessariamente precisa ter uma boa noção das redes Ethernet. Incluindo equipamentos e conceitos. Pois é precisamente isso o que faço nesse capítulo 1. Entro nos aspectos de topologia, de segurança e de tantos outros que são de interesse direto e imediato do profissional do áudio nessa quadra da tecnologia.

Também entro nos aspectos dos projetos de redes Ethernet e no tema em voga, os NICs (cartões de interface) que dão espaço aos diversos protocolos, como Cobranet, Ethersound, Pro64 A-NET, OptoCore, AVB (Audio Video Bridge), RockNet 300 e o consagrado Dante, da Audinate. Discutimos cabos e conectores, bem como princípios de configuração de redes Ethernet.

Uma das coisas que vejo como muito ilustrativas é mencionar sistemas já instalados. Que

funcionam bem. Coisas testadas e consumadas. Porque eles são confiáveis e dão vida ao estofo teórico que lhes precede. Assim, incluí no mesmo capítulo 1 um novo tópico, que é o estudo de casos. Vários deles são abordados.

Termo esse capítulo 1 turbinado com um Glossário de Ethernet. Algo que aqueles mesmos especialistas de TI me sugeriram, mas que muitos outros profissionais do áudio fizeram questão de me lembrar.

O capítulo 2 não foi sequer retocado, exceto que agora as ilustrações são todas coloridas e promovi algumas substituições apenas estéticas. Ou seja, alterações de fontes, tamanhos dos textos, introdução de cores, *etc.*

O que, aliás, é aplicável a todos os capítulos e apêndices desta obra.

No capítulo 3 as alterações começam com a introdução de alguns exemplos de sutilezas empregadas para incrementar o grau de isolamento acústico de estruturas convencionais utilizadas como divisórias ou como paredes.

Apresento alguns links para que o leitor possa detalhar alguns tópicos de seu interesse.

Um dos aspectos que detalho um pouco mais é na hermetização de portas e de janelas, principalmente mediante uso de acessórios importados, de vez que no Brasil sofremos muito da falta de opções nesse sentido.

O tema “muflas acústicas” foi incorporado de vez ao capítulo 3. São analisados os diversos tipos como as muflas dissipativas em suas várias formas e tipos, as venezianas acústicas, as câmaras plenum, as muflas reativas ou refletentes, como as câmaras de expansão, as muflas de cavidade, as muflas dispersivas ou difusivas, as muflas difusoras e outros tipos. A matemática para quem quer calcular esses dispositivos faz parte do capítulo 3 revisado.

A seguir discutimos alguns pontos concernentes às muflas. Como funções de geometrias, efeitos de temperatura e outros.

Por solicitação de muitos amigos do ramo incluí no capítulo 3 toda a parte acústica voltada para aliviar os ruídos produzidos por sistemas de condicionamento de ar e de ventilação. Começo revisando os principais tipos de sistemas de condicionamento e chegamos aos padrões mais comuns de ruídos produzidos pelas diversas partes desses sistemas.

Isso nos possibilita ensaiar as soluções, começando pela seleção do local para as máquinas. Então discutimos a contenção acústica e continuamos com o desacoplamento acústico especialmente aplicado a sistemas de condicionamento de ar e de ventilação. A seguir analisamos os dutos e como controlar problemas como turbulência aerodinâmica e outros, a exemplo de desacoplamentos acústicos específicos para dutos em prédios e desacoplamentos dimensionais, bem como entramos nos meandros da escolha do caminhamento dos dutos de insuflação e de retorno. Também abordamos os aspectos de vazão e velocidade nos dutos, além

dos atenuadores de vazão.

Discutimos com profundidade moderada a questão das grelhas e seus principais problemas.

Para concluir as alterações introduzidas no capítulo 3 discutimos a aplicação de muflas e atenuadores naturais, como câmaras de expansão e câmaras plenum ao dia a dia. Portanto, alargando as aplicações a residências, salas corporativas, cinemas e teatros, estúdios e outros.

O capítulo 4 é o palco onde discutimos equipamentos.

Aqui a revisão praticamente se deu de forma homogênea por todo o texto do capítulo. Outrossim, alguns tópicos mereceram destaque em razão das dificuldades que tem imposto em campo.

Um desses tópicos é o dos microfones sem fio e os problemas de espectro. Discutimos as bandas dedicadas aos microfones sem fio, os problemas que tem ocorrido nas instalações, que defesas temos e para onde as comunicações por rádio estão caminhando.

O assunto mixers foi totalmente revisado. Começamos com a automação que, aos poucos, foi tomando conta dos mixers. A exemplo da automação dos faders com VCAs. Mas procurei acompanhar o caminho, que se deu a passos largos, na direção dos mixers digitais.

Na sequência fiz algumas poucas alterações nos processadores dinâmicos de sinais.

Os amplificadores e os crossovers eletrônicos foram apenas revisados com modificações muito modestas.

Já as caixas acústicas sofreram modificações de profundidade. Inicialmente com relação às cornetas. Seu desenvolvimento moderno foi traçado para que o leitor possa entender o alcance dos avanços tecnológicos por que passaram esses componentes. Chegamos inclusive aos guias de onda. O conceito é discutido com detalhes. Minha intenção é fazer com que o leitor não técnico compreenda bem as vantagens que esse dispositivo traz para o aperfeiçoamento da diretividade das caixas acústicas modernas.

É no capítulo 4 que apresento o termo “cabos de rede”.

Há uma introdução, seguida dos tipos de cabos, categorias, *etc.* A seguir discutimos os cabos irradiantes, O tema “sistemas de monitoração de palco” foi bastante turbinado com a introdução das técnicas de in-ear, de sistemas sem fio, de sistemas usando cabos de rede e outros.

Os demais tópicos do capítulo 4 não foram alterados, apenas que alguns itens foram introduzidos, como os centelhadores para proteção de cabos sujeitos a raios e outras interferências destrutivas.

O capítulo 5 sofreu apenas modificações cosméticas. Principalmente com as novas figuras, agora coloridas.

O capítulo 6 sofreu uma revisão formal com uma ou outra pequena modificação aqui e

acolá. Neste capítulo foi introduzido um dos softwares que vem sendo muito empregado em várias atividades do áudio profissional. Estou me referindo ao CLIO da Audiomática.

Mas há um tema que introduzi no capítulo 6 e que faço questão de mencionar. Aliás, com muito orgulho. Estou me referindo à Gerência Térmica.

Considero este tema de importância capital para quem lida seriamente com o áudio. Não só por sua dimensão intrínseca, mas também porque o assunto não faz parte do “íbope” da imprensa especializada. O assunto é apenas resvalado em pouquíssimos dos livros de áudio e dificilmente localizado em outras mídias. Francamente, só encontrei algo nessa linha em boletins técnicos de alguns poucos fabricantes de racks, entre os quais destaco a minha queridinha MA - Middle Atlantic, com o seu excelente “white paper” Thermal Management.

Para desenvolver o assunto Gerência Térmica no capítulo 6 consumi 103 páginas formato A4. Aí incluídas as 138 ilustrações altamente especializadas.

Começo abordando os fundamentos físicos de calor, com a análise de confiabilidade, qualidade e vida útil de equipamentos em função de temperatura. Passo por equilíbrio térmico e terminologia, para desembocar nos conceitos de remoção de calor e processos evaporativos para condicionamento de ar.

Isto poso, passo ao calor gerado pelos equipamentos e métodos de retirá-los dos racks e das salas de equipamentos. Discutimos quatro regrinhas para a remoção passiva de calor preparando o terreno para chegar nas discussões do que poderia chamar de prato principal.

Esse prato é montado com nada mais nada menos do que 96 estratégias para a obtenção da gerência térmica em termos tecnicamente corretos e cientificamente comprovados.

Cada uma dessas estratégias se faz acompanhar de uma ou mais ilustrações, geralmente mostrando o rack com os equipamentos nele montados, as diversas opções de localização das tomadas de ar e das correspondentes saídas, passivas ou ativas, na forma de exaustão ou de ventilação, tomando-se como referência em todos os casos a convecção natural de ar.

Essas estratégias são aplicáveis a casos desde os mais simples que se possa imaginar, com apenas poucos aparelhos montados num pequeno rack, mas evoluem e atingem casos com dezenas de racks, instalados em salas especialmente projetadas e construídas para essa precisa aplicação.

Concluo o assunto com uma breve discussão, naturalmente bem ilustrada, dos principais acessórios que estão à nossa disposição na autêntica guerra contra o calor. São racks com características especiais, bases inusitadas para a montagem dos racks, grelhas e venezianas de vários tipos e espécies, tapadeiras adesivas e de fixação mecânica, filtros de várias naturezas, trocadores de calor, portas programáveis, organizadores especiais e tantos outros.

E assim, a Nova Bíblia do Som inclui um Capítulo 6 absolutamente renovado.

Um assunto que anda muito na moda foi incluído no Capítulo 7. Trata-se da diretividade dos subwoofers, que passam a contar com os benefícios de padrões de cobertura cardióide e alternativas. São abordadas técnicas como broadside, beamforming, gradient array, endfire, quase endfire, delta array, LR e suas inúmeras variantes, além de outras.

No capítulo 7, ainda, incluí a introdução a um problema típico de cobertura das caixas acústicas, relacionado com os trapézios. São endereçadas as soluções clássicas para o problema.

Outro tema introduzido no Capítulo 7, em minha opinião algo que vai se constituir num autêntico divisor de águas nos sistemas profissionais de áudio, é a questão relacionada com os filtros FIR, seu processamento por DSPs de altíssima capacidade de processamento e, os enormes benefícios que essa técnica pode trazer para sistemas de médio e de grande porte.

A ideia de divisor de águas está diretamente relacionada com as diferenças constatadas nos resultados eletroacústicos, entre sistemas convencionais e os assistidos por tais recursos, que são descomunais. Claro, sempre para melhor.

Evidentemente esse tema engloba o conceito de fase linear, a aplicação de filtros brickwall e tantos outros. Tal conjunto de recursos ajuda – e muito – a controlar lobos que surgem como efeitos colaterais de empilhamentos de line arrays.

Também é possível dar adeus aos atrasos de grupo graças ao poder e engenhosidade dos filtros brickwall combinados com as saborosas receitas da fase linear. Como se sabe, fase linear representa a independência total entre magnitude e fase.

São abordados aspectos como os controles de diretividade e de gerência da direção dos eixos principais das pilhas ou arranjos de falantes.

Além disso, discuto vários dos novos recursos propiciados por esse acervo tecnológico de monta expressiva, incluindo-se guias de onda de última geração, filtros com quaisquer rampas que se queira imaginar, benefícios trazidos pelas respostas de impulso e muitos outros.

Na sequência introduzo um tópico que poderia ser facilmente chamado de cereja do bolo. Estou me referindo à convolução e seus desdobramentos.

Não me esqueci de juntar a isso a chamada otimização numérica.

Para finalizar as novidades do Capítulo 7 menciono algumas novas ferramentas que estão à disposição dos projetistas.

O Capítulo 8 passou por uma revisão superficial, mas ele teve essencialmente sua integralidade mantida ou apenas retocada.

O mesmo ocorreu com o Capítulo 9.

Já o Capítulo 10 foi palco de inúmeras alterações.

Começo mencionando uma discussão dos trabalhos realizados em escritório, que

antecedem os serviços de instalação em campo. São introduzidos alguns mecanismos práticos de controle, a exemplo de checklists de ferramentas, de materiais auxiliares úteis em campo e outros.

Altereí as discussões sobre as condições de campo nas obras, especialmente com relação aos aspectos administrativos, tipo de apoio necessário e outros.

Introduzi várias normas e práticas de instalação.

Também achei prudente dedicar algumas páginas às técnicas avançadas de puxamento de cabos.

Um dos aspectos que fiz questão de acrescentar ao Capítulo 10, com tantos detalhes quanto uma obra deve apresentar, é uma discussão detalhada com conectores e dos materiais utilizados em sua fabricação. Fiz isso porque constato que esse é outro daqueles tópicos que não se sabe porque cargas d'água a imprensa especializada mal resvala, quando resvala.

Discuto os materiais utilizados nos contatos, sua porosidade e no que isso resulta, abordo a intimidade mecânica dos contatos, os efeitos da temperatura e gradientes de temperatura, os efeitos da corrente elétrica, corrosão galvânica, desgastes erosivos, corrosão por oxidação, fraturas dos contatos e seus efeitos, consequências da maresia e de ambientes muito agressivos, a relação entre um bom contato e as vibrações mecânicas e muito mais.

Outro aspecto que introduzi foi a engenharia de cabos em campo e seus desdobramentos. Outro assunto que jamais li em qualquer revista, nacional ou de fora, e raríssimas vezes encontrei algo a respeito em livros. E olhe que continuo comprando livros aos fardos.

Como consequência disso também julguei que era de bom tom abordar a montagem de cabos de rede, e as certificações e técnicas voltadas para esses cabos.

Outro assunto que muitos me pediram no passado, que em cursos, quer por e-mail, foi o das técnicas avançadas de soldagem. Em razão dessas solicitações começo discutindo soldas, formulações, núcleos, ferros e sua manipulação, wattagens e escolhas, procedimentos de soldagem e muitos outros. Termino essa parte discutindo as condições fundamentais para que se faça uma boa soldagem.

Também introduzi um ponto que, na prática, constato ser muito nublado e obscuro. Trata-se dos programas de manutenção de sistemas de todos os tipos.

Quando foi publicado o meu livro *Áudio Engenharia e Sistemas*, em 1988, lá se vão quase trinta anos. Naquela época eu e alguns outros profissionais usávamos um termo, que depois foi consagrado. Era o **FLY PA**. Muitos não entendiam o sentido do termo porque naqueles dias as caixas acústicas ficavam invariavelmente no piso do palco, nos lados esquerdo e direito. Veja isso na figura I.2.



figura I.2 exemplo muito característico de “PA” dos anos 70 e 80, com as caixas acústicas instaladas no piso, umas sobre as outras, para formar os canais “L” e “R”

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Passei a usar um só cluster de som muito elevado do palco, em posição central. E a ele me referia como FLY PA. Com o tempo aquele canal central acabou ganhando seus complementos, que são os canais L e R. E hoje todos são instalados bem acima do palco. Razão pela qual o termo FLY PA deixou de ser utilizado. A norma é elevar os falantes e ponto final. Por sinal, com boas razões técnicas que a sustentam. Contudo, se elevar falantes do piso tornou-se a praxe, melhor seria que todos estudássemos um pouco as técnicas de içamento de caixas, line arrays e quaisquer agrupamentos de caixas, usualmente denominadas “rigging”.

Alguns fabricantes escrevem textos sobre isso, a exemplo da JBL PRO com o Technical Notes Volume 1, Number 14, Basic Principles for Suspending Loudspeaker Systems. Sem dúvida, trata-se de um excelente trabalho. Mas os profissionais precisam de mais. De muito mais. Oferecer isso foi a minha intenção ao incluir as técnicas de “rigging” no capítulo 7. A esse tópico dedico nada mais nada menos do que cento e cinquenta páginas no formato A4. Acreditem, é coisa prá caramba.

O que abordo? Vamos lá:

Começo com a ideia de planejamento e conceitos básicos de massa, de peso, de gravidade e de estabilidade mecânica. Logo a seguir desenvolvo o tema das estruturas de concreto, de metal e de madeira. Com seus pontos fortes e fracos. Informo que antes de pendurar qualquer coisa em qualquer lugar é imperativo ter em mãos laudo oficial de profissional para tanto credenciado. Evoluímos para a tecnologia de parafusos e fixações, materiais desses elementos, forças de tração e de cisalhamento, colapso e fadiga, fatores específicos de segurança, chumbadores e parabolts, buchas químicas e outros tantos elementos de fixação.

Nessa mesma linha procurei introduzir pontos fundamentais dos cabos de aço e acessórios como grampos, manilhas, ganchos, anelões, lingas, esticadores, pensa cabos, luvas de emenda, olhais, sapatilhas e soquetes. Discutimos como aplicar na prática esses itens, como função de suas propriedades e capacidades, sempre assinaladas em relevo nas próprias peças.

A seguir, discutimos as correntes metálicas e seus acessórios. A ideia é sempre centrada na aplicação dos produtos para obtenção de rigging de qualidade. Na mesma toada prosseguimos com as cintas de poliéster e com cordas convencionais e de nylon.

Ainda discutindo rigging, abordo a questão das polias e suas combinações, chegando aos cadernais. A seguir falamos das talhas manuais, das elétricas e das pneumáticas, focando vantagens e desvantagens de cada gênero.

Evoluímos, então, para os andaimes, os balancins, as cadeirinhas, as plataformas elevatórias, as mini plataformas, as mini gruas, as plataformas tesoura, as plataformas individuais, os guinchos de coluna, os Munck, as lanças telescópicas, as lanças telescópicas articuladas, os guindastes, as escadas Magirus, pontes elevatórias e a tremenda importância dos pontos de ancoragem.

Entro especificamente nos bumpers e grides, nos içamentos e movimentações manuais e mecânicas, considerando as áreas de risco, os tipos de amarrações, as redes de içamento, como lidar com cargas assimétricas e a perigosa ação de ventos, especialmente em ambientes abertos.

Daí caminho para as identificações de capacidade em cada item utilizado no rigging, fatores gerais de segurança, lubrificações de cabos, sinalização de campo e, o que considero prá lá de relevante, as recomendações gerais para um rigging bem seguro.

A próxima novidade do Capítulo 10 é a discussão das instalações de line arrays com ampla abordagem dos suportes especiais, como grides customizados, barras longitudinais, suportes especializados, suportes desenhados para sistema de grande porte e de porte gigante, além dos suportes oferecidos por empresas altamente especializadas nessa seara.

Tudo com muitas ilustrações de instalações que liderei e outras, que servem como exemplos e ilustrações genéricas e específicas de todo esse material.

Ainda no Capítulo 10 introduzo o assunto EPI – Equipamento de Proteção Individual e da tremenda importância de utilizá-lo. Como não poderia deixar passar a oportunidade, introduzi algumas boas práticas de engenharia aplicadas às instalações de sistemas de som.

Outro item que parece meio perdido na literatura especializada é a manutenção de sistemas profissionais de áudio. Por isso procuro introduzir alguns aspectos elementares que permitem desenvolver o tema em função das características próprias de cada caso, de cada empresa, incluindo-se aspectos regionais.

Outros desses aspectos muito importantes, que não poderia deixar de considerar são as questões do comissionamento de sistemas e a documentação técnica que, em minha modesta opinião, os integradores devem, obrigatoriamente, entregar a seus clientes de sistemas profissionais de áudio.

Concluo as alterações do Capítulo 10 com o treinamento operacional a ser oferecido aos clientes.

Em nítido contraste com o Capítulo 10, o Capítulo 11 só passou por uma revisão de atualização. Desse modo, o texto foi apenas retocado.

No Capítulo 12 introduzi o conceito de “cepstrum”, que é o termo spectrum em inglês, com inversão de letras e transposição de sílabas. Seguem muitas informações pertinentes e

discussão de termos com saphe, para phase, de rahmonics, para harmonics e de tantos outros na mesma toada. As discussões técnicas pertinentes seguem de perto essas colocações e tudo termina nas convoluções, cada vez mais presentes no áudio profissional. É como se fosse uma espécie de complementação ao que havíamos falado antes no Capítulo 7. Lembra-se da cereja do bolo?

Também introduzo alguns outros aspectos no Capítulo 12, como as ferramentas especiais, os níveis a laser, magnéticos e eletrônicos, clinômetros, medidores de última geração de ângulos em quaisquer planos e inclinações em geral, patchfinders e tantos outros.

No Capítulo 13 a única introdução refere-se aos distúrbios comuns das linhas CA. Algo que pouco se considera ao instalar sistemas profissionais de áudio. Entendo que conhecer bem esse ponto é quase uma obrigação do engenheiro de áudio atualizado com os problemas de energia que enfrentamos em nosso dia a dia.

Como em alguns outros capítulos, o Capítulo 14 também só sofreu revisão básica de atualização. Com retoques eventuais de texto.

O Apêndice A foi mantido porque glossários específicos foram introduzidos nos próprios capítulos para facilitar as consultas.

Os Apêndices B, C, D, E e F foram integralmente mantidos. Apenas que as respectivas figuras são, agora, apresentadas a cores e não mais em branco e preto.

O Apêndice G, que inclui as relações de figuras, expressões e tabelas foi alterado para acompanhar as inúmeras alterações introduzidas.

O texto do Apêndice H, de natureza estritamente técnica, também foi integralmente conservado sem alterações.

Finalmente, o Apêndice I, que são as referências bibliográficas, foi atualizado para acompanhar as mudanças introduzidas e oferecer referências e fontes de consulta complementares a todos os leitores.

Luiz Fernando Otero Cysne

Verão de 2016

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 1 **sistemas de sonorização**



Conteúdo do capítulo 1

1. SISTEMAS DE SONORIZAÇÃO

1.1 REFORÇO ACÚSTICO DE VOZ

1.2 REFORÇO ACÚSTICO DE MÚSICA AO VIVO

1.3 REFORÇO ACÚSTICO DE MÚSICA MECÂNICA 1.4 SISTEMAS DE GRAVAÇÃO

1.5 SISTEMAS DE ALTA IMPEDÂNCIA/VOLTAGEM CONSTANTE

1.6 SISTEMAS DE MIXAGEM AUTOMÁTICA 1.7 SISTEMAS DE MASCARAMENTO ACÚSTICO

1.8 SISTEMAS DE INTERPRETAÇÃO SIMULTÂNEA 1.9 SISTEMAS DE AJUDA AOS DEFICIENTES AUDITIVOS

1.10 SISTEMAS DE CINEMA

1.10.1 introdução

1.10.2 IMAX

1.10.3 Dolby Atmos

1.11 SISTEMAS DE SEGURANÇA 1.12 SISTEMAS MÓVEIS

1.13 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO

1.14 SISTEMAS INDUSTRIAIS

1.15 SISTEMAS ESPECIAIS

1.16 SISTEMAS COMBINADOS

1.17 SISTEMAS DIGITALMENTE CONTROLADOS

1.18 O CAMPO DE APLICAÇÃO DOS VÁRIOS SISTEMAS

1.19 FORMAS DE CRIAÇÃO E DE REPRODUÇÃO DOS SONS

1.19.1 Mono

1.19.2 Estéreo Convencional 1.19.3 Estéreo Aumentado 1.19.4 Estéreo Aumentado Avançado 1.19.5 Multicanal

1.19.6 Áudio Binaural 1.20 ASE (ÁUDIO SOBRE ETHERNET) 1.20.1 Vantagens

1.20.1.1 Redução Dramática de Custos 1.20.1.2 Aumento Significativo de Qualidade

1.20.1.3 Flexibilidade Muito Superior 1.20.1.4 Instalações Mais Racionais e Muito

Mais Rápidas 1.20.1.5 Incremento Insólito de Confiabilidade 1.20.1.6 Operação

Simplificada 1.20.1.7 Manutenção Mais Racional e Direta 1.20.1.8 Aspectos

Funcionais e Operacionais 1.20.2 Noções de Rede 1.20.2.1 Termos Básicos 1.20.2.2

Breve Apanhado Histórico 1.20.2.3 Filosofia de Operação 1.20.2.4 Blocos

Construtivos Elementares 1.20.2.5 VLAN e Wireless LAN (WLAN) 1.20.2.6

Topologias e Variantes 1.20.2.7 Distâncias Possíveis, Fibras Óticas e Conversores

de Mídia 1.20.2.8 Redundância e Confiabilidade 1.20.3 Projetos de Redes Ethernet

1.20.4 Princípios de Configuração de Redes Ethernet 1.20.4.1 QoS

1.20.4.2 IGPM snooping 1.20.4.3 copy & paste 1.20.5 Informações Adicionais sobre ASE

1.20.5.1 Definição

1.20.5.2 Mercado e Protocolos Abertos e Fechados 1.20.6 Estudo de Casos 1.20.6.1

Presidência da República 1.20.6.2 Estádio Monumental de Lima, Peru 1.20.6.3

Prédio Sede da Petrobrás, Rio de Janeiro 1.20.6.4 IBN Vargem Grande, MT

1.20.7 Glossário de Ethernet 1. SISTEMAS DE SONORIZAÇÃO

É natural que façamos referência a diversos tipos de sistemas profissionais de sonorização quando os estudamos de forma genérica.

Entretanto, as diferenças entre os diversos tipos podem ser imensas. Além disso, costumam variar consideravelmente de acordo com as aplicações dadas a cada sistema. Manifestando-se sobretudo em suas configurações.

Ao nos referirmos a diferentes tipos de sistemas, somos obrigados a utilizar uma terminologia muito específica.

Se fizermos isso sem tomar o cuidado de definir previamente cada um dos termos empregados, ao que vale dizer, sem que saibamos exatamente o que são os tipos de sistemas

dos quais estamos falando, certamente estaremos aplicando termos ambíguos e mais sujeitos a interpretações do que o necessário.

Introduzindo em cena um complicador indesejável, sem qualquer razão para isso. Uma vez que tal situação conspira contra nosso objetivo maior, devemos iniciar estabelecendo a base conceitual do que são os vários sistemas de áudio.

Esse é o propósito deste capítulo.

Vários são os motivos que levam os engenheiros de áudio a classificar os sistemas de sonorização. Existem diferentes procedimentos para elaborar essas classificações, cada uma delas criada para atender a um determinado conjunto de necessidades.

No caso deste trabalho, obviamente a necessidade predominante é a didática.

Logo, os critérios de classificação utilizados neste capítulo também são de natureza didática.

Com pequenas variações, eles correspondem ao que é utilizado em cursos de áudio profissional ministrados por todo o mundo, inclusive isso já era tema do Curso Básico de Áudio Profissional, que elaborei em Nova Iorque há cerca de 30 (trinta) anos em conjunto com alguns profissionais da Audio Engineering Society Inc.

1.1 REFORÇO ACÚSTICO DE VOZ

Os sistemas de reforço acústico de voz caracterizam-se pela amplificação em tempo real dos sinais provenientes de um ou mais microfones, que servem a um ou mais oradores.

O som reforçado é destinado a atender plateias de quaisquer tamanhos. Geralmente orador, ou oradores, e indivíduos da plateia ficam situados no mesmo recinto físico.

Como regra geral, dificilmente há necessidade de som de retorno de palco. Entretanto, por vezes isto pode ser desejável.

Quando é o caso, na maioria das vezes não há quaisquer exigências especiais quanto às mixagens de retorno, pois o orador apenas quer se ouvir.

1.2 REFORÇO ACÚSTICO DE MÚSICA AO VIVO

Como no caso anterior, estes sistemas amplificam música em tempo real para uma plateia de qualquer tamanho.

Ainda como antes, geralmente músicos e plateia ficam situados no mesmo recinto. Fora esses aspectos comuns, há muitas diferenças entre os sistemas de reforço de voz e os de música ao vivo. As principais são:

- os sistemas de reforço de voz utilizam exclusivamente microfones, que captam as vozes dos oradores, porquanto nos sistemas de reforço de música os sinais não são apenas provenientes dos microfones, mas também de direct boxes, e de submixers, e ainda, dos próprios instrumentos elétricos e/ou eletrônicos, como os teclados e guitarras
- comparados com os sistemas de reforço de voz, os níveis de pressão sonora exigidos dos sistemas de reforço de música ao vivo são muito mais elevados
- as respostas de frequência dos sistemas de reforço de música ao vivo são invariavelmente bem mais extensas e planas do que nos sistemas de reforço de voz
- ao contrário dos sistemas de reforço de voz, os de música ao vivo requerem várias mixagens diferentes para retorno de palco, usualmente solicitadas com níveis consideravelmente elevados de pressão sonora

1.3 REFORÇO ACÚSTICO DE MÚSICA MECÂNICA A amplificação dos sistemas de reprodução de música mecânica já não é mais feita em tempo real. Ao contrário, são empregados quaisquer meios de registro de sinais de áudio, ou sistemas de gravação e/ou de transmissão. A fonte de som pode ser local, como um DAT ou uma máquina cassete, ou remota, com transmissão por linhas telefônicas, cabos, fibras óticas, ondas de rádio e satélites.

A grande diferença entre os sistemas anteriores e estes, é que aqui não há quaisquer problemas potenciais de microfonia.

1.4 SISTEMAS DE GRAVAÇÃO

Sistemas de gravação são todos aqueles engenheirados para possibilitar o registro de vozes e/ou música. Estes sinais acústicos são transformados em sinais de áudio, inicialmente na forma de energia elétrica. Geralmente é preciso alguma forma de processamento antes que os sinais possam ser registrados.

O registro em si pode ser feito em meios magnéticos, mecânicos, óticos ou digitais.

O meio magnético mais conhecido são as fitas de gravação, feitas de um filme de poliéster, também chamado substrato, revestido com partículas magnéticas microscópicas.

Um bom exemplo de meio mecânico são os discos vinílicos, ainda nas prateleiras dos audiófilos do mundo todo. Um meio ótico bastante conhecido são as trilhas de filmes cinematográficos. Porquanto os discos digitais dispensam exemplos ou comentários. Outro exemplo de registro digital são nossos computadores.

Entre os meios de gravação mais utilizados atualmente estão os seguintes:

- gravadores magnéticos analógicos (K7s, mini multipistas K7s, multipistas de rolo e outros)
- gravadores magnéticos digitais (DATs e DCCs)
- gravadores opto-magnéticos (CDs, SACDs, MDs, CD ROMs, DVD-As e outros)
- gravadores em hard disk (computadores e máquinas especiais)
- gravadores com memórias eletrônicas (EPROMs e outras)

Nesta classificação de sistemas estão incluídos desde pequenos gravadores residenciais até sistemas completos para estúdios de gravação, digitais, semi digitais e analógicos. Passando por pequenas centrais de gravação e várias outras formas intermediárias de registro.

1.5 SISTEMAS DE ALTA IMPEDÂNCIA/VOLTAGEM CONSTANTE

Os sistemas de alta impedância/voltagem constante são recomendados para casos em que a cobertura acústica deve ser feita com grande quantidade de falantes e/ou cornetas acústicas, operados com níveis baixos ou moderados de energia.

Com efeito, o elevado grau de capilaridade é, sem dúvida, a característica mais relevante desses sistemas. Como em casos de aeroportos e parques temáticos, para mencionar apenas dois exemplos.

A ideia de utilizar muitos falantes com baixa potência tem a finalidade básica de dividir por todos os falantes do sistema a potência elétrica disponível. Com o objetivo último de distribuir adequadamente a energia total por todo o espaço atendido.

Nestes casos, as ligações entre amplificadores e falantes são geralmente longas, podendo chegar facilmente à casa de quilômetros. Dessa maneira, é importante minimizar as perdas de energia nos trajetos, determinadas pelas resistências dos cabos. De fato, essas interligações poderiam ser feitas com cabos de bitolas muito elevadas. Mas isso seria alternativa pouco econômica. A opção econômica, que permite trabalhar com cabos de bitolas reduzidas, é operar as interligações amplificadores-falantes com baixas correntes elétricas. O que implica em aplicar voltagens relativamente elevadas nas interligações.

Essa forma pouco usual de energizar falantes pode ser facilmente obtida com amplificadores de projeto especial.

Em contraste com os amplificadores de áudio convencionais, com os quais todos estamos habituados, os sistemas de alta impedância/voltagem constante empregam amplificadores com circuitação de saída capaz de produzir voltagens relativamente elevadas, geralmente 70,7 volts, quando operados aos níveis nominais de potência. Via de regra entre 100 e 200 watts.

Como veremos posteriormente, esses níveis de voltagem e de potência elétrica conduzem a impedâncias de interligação muito mais elevadas do que as que são feitas com amplificadores convencionais. Por outro lado, a voltagem permanece constante se a potência também permanecer.

Portanto, o termo alta impedância/voltagem constante é uma alusão direta aos amplificadores especiais utilizados nesses sistemas, e suas interligações com os falantes.

E qual a razão de ser desses amplificadores? Bem, para que possamos ligar em paralelo uma grande quantidade de alto-falantes em suas saídas, precisamos associar a cada falante um transformador, cuja impedância do lado da linha é sempre muito alta. Essa mesma impedância também tem a função de limitar a potência elétrica drenada do amplificador, ajustando a impedância da linha à do falante.

Claro, você já sacou que as principais aplicações desses sistemas são distribuir música

funcional e possibilitar a divulgação de avisos e chamadas.

Há sistemas de alta impedância/voltagem constante que apenas distribuem música funcional, outros que apenas se prestam para a divulgação de avisos e/ou chamadas, e há os que combinam essas duas funções. Os primeiros são denominados sistemas de distribuição de música funcional. Os sistemas que apenas se prestam aos avisos e chamadas são os de endereçamento público (Public Address). A propósito, esta é precisamente a origem do termo PA, tal como o conhecemos hoje. Os sistemas projetados para a divulgação exclusiva de chamadas são chamados sistemas “paging”.

Nos grandes sistemas geralmente há necessidade de setorização. Imagine a seguinte situação. Um clube com várias áreas sociais distintas, para as quais o sistema está simultaneamente gerando música funcional. Num determinado momento se quer chamar uma pessoa em particular, que se sabe, naquele momento está nas imediações da churrasqueira. Porque simplesmente não fazer a chamada para aquele setor? Se isso fosse feito, os demais setores do clube não seriam inutilmente incomodados. Pois este é o conceito principal que está por trás da setorização. Na prática, os setores podem ser apenas quatro ou cinco, mas também podem ser dezenas.

As chamadas são feitas por microfones convencionais, e os avisos ou por microfones, ou através de mensagens pré formatadas, gravadas em meios analógicos ou digitais. A música é gerada por fontes convencionais, como máquinas cassete, reprodutores de CDs e outras.

No apêndice B discutimos detalhadamente os sistemas de alta impedância/voltagem constante.

1.6 SISTEMAS DE MIXAGEM AUTOMÁTICA Há determinados espaços que exigem um tipo muito peculiar de sonorização. É o caso das salas de conferência, salas de reuniões de tamanho médio ou grande, salas de conselho, salas para assembleias, salões plenários e diversos outros locais do gênero.

Esses recintos são usualmente decorados com a indefectível mesa, em torno da qual os participantes do evento se acomodam. Na maioria das vezes são peças retangulares ou ovaladas, ou ainda, em forma de “U”, com proporções alongadas. As distâncias entre as pessoas, como por exemplo as que ficam em cabeceiras opostas da mesa, são grandes o suficiente para exigir reforço acústico. Que deve ser provido por um sistema de sonorização de modo a atender a todos os lugares em volta da mesa, e às vezes também a determinadas áreas reservadas para convidados, imprensa, *etc.*

Ao contrário de um auditório, onde uma ou poucas pessoas dirigem a palavra para toda uma plateia, nas salas de conferência cada um dos participantes precisa de um microfone permanentemente à sua disposição. O que não é o mesmo que dizer que cada um desses microfones deve estar sempre aberto.

Os sistemas de reforço para esses espaços empregam quantidades de microfones que podem variar de algumas unidades a muitas dezenas, podendo, em casos especiais, como senados e câmaras de deputados, atingir a casa de centenas.

Os dois grandes predicados sempre exigidos desses sistemas são a elevada inteligibilidade

da palavra e a ausência total de microfonia. A simplicidade operacional é praticamente um pressuposto do qual não se abre mão, de vez que as pessoas que acabam operando tais sistemas geralmente não possuem formação técnica, nem tampouco estão preparadas para a tarefa que lhes é atribuída.

Veremos detalhadamente nos capítulos seguintes porque esses predicados dificilmente podem ser atingidos com sistemas convencionais.

Por enquanto, vamos apenas aceitar que os resultados dependem essencialmente de mantermos abertos apenas os microfones que estão sendo de fato utilizados em cada momento, enquanto todos os demais devem permanecer fechados. E também, que o ajuste do nível de pressão sonora depende em qualquer momento da quantidade de microfones simultaneamente abertos.

Operar um sistema convencional num desses locais é tarefa muito ingrata para qualquer operador. A dificuldade está associada à velocidade exigida do operador para identificar a pessoa que vai falar, abrir seu microfone na sequência, e ainda, ajustar adequadamente o ganho do canal correspondente. Se ainda não dá para perceber a dificuldade, pense numa mesa com 50 pessoas, sendo o evento uma votação simples, na qual as pessoas, numa sequência aleatória, apenas vão dizendo sim ou não.

É..., o ditado parece mesmo estar correto. Ao menos neste caso a necessidade foi a mãe da invenção. Com mixers convencionais, as grandes dificuldades operacionais sempre se combinavam com resultados sônicos que frequentemente deixavam a desejar. O que deu origem às primeiras ideias que surgiram para controlar a quantidade de microfones simultaneamente abertos, e assim, a microfonia e a inteligibilidade.

Inicialmente o controle era feito com chaveamento mecânico. Cada participante tinha à sua frente um pequeno painel, equipado com uma chave através da qual podia abrir ou fechar seu próprio microfone. Mas em reuniões com quantidade algo elevada de participantes, e dependendo do calor com que cada assunto era tratado, o controle dos microfones abertos era progressivamente menos eficaz. Especialmente quanto a fechar microfones. As pessoas até mesmo se esqueciam de fechar seus microfones após tê-los usado.

Vieram então os painéis que não permitiam mais que os microfones fossem diretamente abertos e fechados pelos usuários. Ao invés disso, tinham uma tecla que ao ser acionada fazia uma lâmpada ou led acender num painel maior. Este painel maior tinha tantas lâmpadas ou leds quantos fossem os painéis dos participantes. E era através dele que se abria ou fechava qualquer microfone. Era o chamado painel do presidente, sempre instalado para manipulação pelo indivíduo que ocupasse o local reservado para o coordenador da reunião. Havia uma grande variedade desses sistemas, com graus diferentes de sofisticação. Mais ou menos leds nos painéis, sinalizações complementares, e muitos outros “recursos” baseados em lógica cabeada.

No processo evolutivo natural, muitos “sound contractors” substituíram o chaveamento mecânico por chaveamento eletrônico.

Mas os inconvenientes de todos esses sistemas primitivos não eram poucos. A começar pelos elevados preços, que eram apenas a consequência óbvia da elevada customização que os caracterizava, e de suas instalações invariavelmente complexas, envolvendo robustos chicotes de cabos. Como subproduto disso tudo,

a manutenção também era problemática. Do ponto de vista operacional, nem todos os participantes das reuniões e coordenadores se familiarizavam facilmente com teclas, chaves e outros instrumentos de atuação sobre os sistemas.

Percebendo todas essas dificuldades, muitos fabricantes americanos, e alguns japoneses, iniciaram uma investigação minuciosa sobre o assunto. O objetivo era oferecer soluções capazes de atender às necessidades de um segmento de mercado emergente e muito promissor.

Os primeiros mixers automáticos lançados no mercado estavam muito mais para o semi automático do que propriamente para o automático. Tudo o que eles faziam era controlar o ganho master do sistema pela limitação arbitrária da quantidade de microfones abertos, ou pela introdução de um atenuador que respondia a suas variações. Nos melhores mixers, pela combinação das duas coisas.

O forte potencial mercadológico e a enorme demanda imprimiam ritmo alucinante às pesquisas dos fabricantes. Que concluíram que um mixer automático deveria fazer automaticamente o que o operador fazia manualmente, isto é:

- detectar e decidir a cada momento que canais de microfones devem estar ligados, e manter os demais desligados ou atenuados
- obter uma transição rápida mas suave entre esses dois estados, sempre que necessário
- controlar o ganho master do sistema de acordo com as variações da quantidade de microfones simultaneamente abertos

Bem, estas são as tarefas básicas dos sistemas de mixagem automática.

Portanto, nesses sistemas, os mixers são capazes de inibir os canais cujos microfones não estão sendo utilizados, e os habilitar quando eles são usados. Além disso, o ganho master do sistema é sempre automaticamente ajustado pelo aparelho. Não só em função da quantidade de microfones simultaneamente abertos, mas também em função das variações do ruído no local. Esse recurso, denominado limiar adaptivo, será discutido com detalhes no capítulo 4.

Nesses sistemas é sempre possível estabelecer um limite para a quantidade máxima de microfones simultaneamente abertos.

Geralmente, o reforço acústico dos sistemas de mixagem automática é feito com uma quantidade relativamente elevada de falantes, instalados no teto, acima das poltronas, ou abaixo do tampo da mesa, orientados para as poltronas. Usualmente cada falante é energizado por um módulo dedicado de amplificação de baixa potência. Assim, outro recurso desses sistemas está baseado exatamente nessa característica de utilização de falantes. Trata-se do recurso “speaker zoning”.

Os módulos de amplificação podem ser programados para bloquear ou atenuar numa proporção preestabelecida o nível de energia entregue ao correspondente falante. Para que os amplificadores imponham o bloqueio ou atenuação, apenas precisam de um sinal de comando. Como os mixers automáticos são sempre dotados de um mínimo de lógica eletrônica, é sempre possível saber qual ou quais canais estão sendo utilizados a cada momento. E o sinal de comando lógico pode ser dado pelo mixer ao amplificador, de forma que o falante visado seja exatamente aquele que atende a área onde está o microfone em uso. Assim, o recurso “speaker

zoning” possibilita um controle muito eficiente sobre a microfonia.

Outro recurso muito útil nesses sistemas é a equalização inteligente. Os equalizadores inteligentes fazem parte integrante dos sistemas de mixagem automática. Em geral, utiliza-se um ou mais equalizadores por sistema, que podem ser do gênero gráfico ou paramétrico ou paragráfico, com 8 ou 10 bandas, equipados com 2 ou 3 filtros notch e memória suficiente para registrar cerca de 10 cenários diferentes de equalização, cada um.

Esses cenários são automaticamente trazidos da memória e inseridos no sistema dependendo de qual ou quais microfones estão sendo momentaneamente utilizados. Essas escolhas são pré estabelecidas pelo instalador, e acionadas nos equalizadores através dos canais portadores de informações lógicas (geralmente +5 volts e 0 volt) provenientes dos próprios mixers.

O resultado prático desse recurso é de uma eficácia estonteante.

Uma das grandes vantagens dos sistemas de mixagem automática é a expansibilidade, praticamente ilimitada. Com ela é possível implantar pequenos sistemas que, com o tempo, podem ser facilmente ampliados.

Há inúmeros outros recursos que poderíamos mencionar como parte integrante do arsenal dos sistemas automáticos. Formas de ajustes, facilidades de programação, controles remotos de inúmeras funções, interfaces de integração multimídia e com aparelhos de tele ou vídeo conferência, e tantos mais. Alguns destes recursos são discutidos no capítulo 4.

Agora que nos livramos do operador tudo ficará melhor, certo? Não, errado. Sem dúvida, o operador é agora mais necessário do que antes. Como disse, com um sistema inoperável, o operador pouco podia fazer. Era uma espécie de muleta psicológica e um bode expiatório de plantão. Alguém que lá estava para ouvir desabafos, pois por melhor que fosse, não fazia milagres. Agora, se familiarizado com os sistemas automáticos, *pode*.

Apenas a título de informação, foi exatamente um sistema desses que a Cysne Sound Engineering projetou para o Salão Oval da Presidência da República, em Brasília. A figura 1.1 exibe a foto de outra instalação recente concluída e entregue pela Cysne Sound Engineering



figura 1.1 aspecto da mesa com 36 microfones de um sistema de mixagem automática instalado pela Cysne Sound Engineering na Sala do Conselho do Bradesco, Osasco, São Paulo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

1.7 SISTEMAS DE MASCARAMENTO ACÚSTICO

Os modernos escritórios panorâmicos impõem a todos os seus ocupantes um problema considerado sério por muitos especialistas. Que é a perda da privacidade dos indivíduos. Ou ao menos parte dela. Isso ocorre porque as separações físicas são feitas com divisórias baixas. Essa forma de compartimentalização pode ser um excelente fator de organização do espaço físico, e até mesmo um importante elemento decorativo e visual. Mas do ponto de vista acústico é praticamente inócua.

Assim, dependendo no nível de ruído ambiente de um destes escritórios, o que se fala numa mesa, mesmo que em tom coloquial, pode ser ouvido e entendido por pessoas situadas em outras mesas, nas imediações daquela.

No capítulo 6 veremos que a inteligibilidade da palavra depende, entre outras coisas, da relação sinal/ruído. Ou seja, a inteligibilidade é tanto menor quanto pior é a relação sinal/ruído.

Os sistemas de mascaramento acústico se valem exatamente disso para reduzir a inteligibilidade. O que é feito de forma controlada, e apenas o suficiente para aumentar o grau de privacidade nos espaços panorâmicos.

Os sistemas de mascaramento possuem alto-falantes distribuídos pelo forro do escritório, através dos quais se introduz um ruído com espectro e magnitude controlados.

O ruído não deve ser perceptível pelos indivíduos que trabalham no escritório. Desse modo, as falas que eram ouvidas e entendidas sem o sistema de mascaramento, continuam a ser ouvidas com ele ligado, mas agora a inteligibilidade deixa de existir mesmo para distâncias relativamente pequenas.

O que restabelece a parte perdida da privacidade das pessoas.

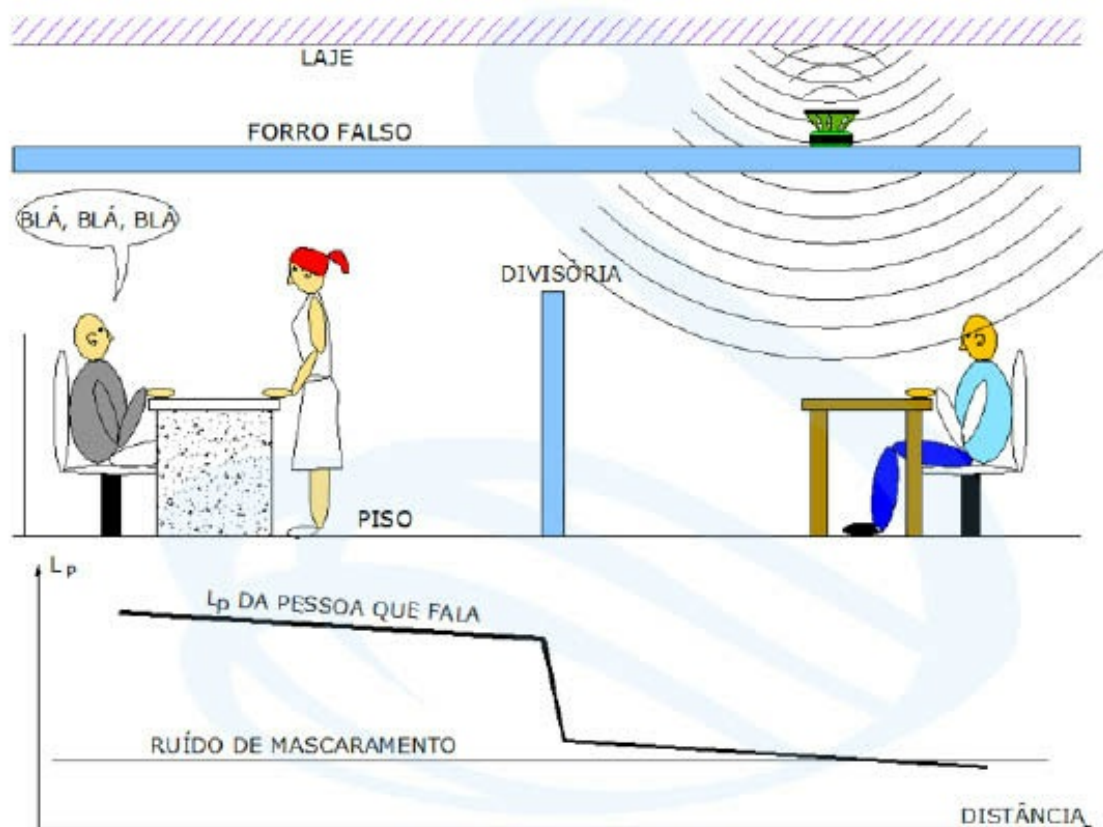


figura 1.2 esquema básico de funcionamento dos sistemas de mascaramento acústico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Por essa razão, esses sistemas também são chamados sistemas de comunicação com privacidade. A figura 1.2 ajuda a entender o conceito básico que dá origem aos sistemas de mascaramento acústico.

1.8 SISTEMAS DE INTERPRETAÇÃO SIMULTÂNEA Nosso cenário é um grande auditório, com 1.500 poltronas.

O sistema de reforço de voz convencional é alimentado pelo microfone utilizado pelo orador. A reprodução do som é feita através dos falantes principais, instalados em profusão no forro do recinto.

O orador está falando em português para uma plateia com indivíduos brasileiros, franceses, alemães e japoneses. Sendo que, fora os brasileiros, os demais não entendem o idioma português. Não o suficiente para acompanhar o assunto.

É nesse momento que entram em cena os sistemas de interpretação simultânea. Que são sistemas especiais de reforço de voz, utilizados sempre em conjunto com os sistemas convencionais de reforço de voz.

É preciso que haja ao menos duas tradutoras para cada idioma. Cada tradutora trabalha com um microfone e um fone de ouvido, e com uma pequena console, que fica bem à sua frente.

Uma parte do sinal em curso pelo sistema de reforço convencional é encaminhado para cada uma das consoles das tradutoras onde, após amplificação, pode ser ouvido via fone de ouvido. As consoles possibilitam que as tradutoras ajustem os níveis de sinal que recebem pelo fone de ouvido. Boa parte das consoles possui tudo em duplicata, pois é comum que as duas tradutoras façam alternadamente o mesmo trabalho, já que esta é uma tarefa que pode

cansar mentalmente um ser humano em muito pouco tempo.

A tradução é feita oralmente para o microfone que cada tradutora utiliza. Esses sinais são captados, amplificados e estão prontos para distribuição para a plateia.

Como o local já tem falantes reproduzindo som em português, a distribuição só pode ser feita por meios alternativos, geralmente fones de ouvido. Que são utilizados pelos indivíduos interessados.

Na maioria das vezes as traduções são feitas em vários idiomas, como em nosso exemplo, no qual se pensou em traduções do português para o francês, para o alemão e para japonês.

Suponha agora que, por qualquer razão, a tradutora que vai traduzir para o japonês, prefira traduzir do francês para o japonês ao invés de do português para o japonês. Situações como esta são fartamente encontradas no dia a dia de nossa realidade.

Então, as consoles devem ser interligadas de forma que o sinal que chega a cada uma delas pelo microfone da tradutora possa estar presente em todas as demais consoles. Ao que vale dizer, cada uma das consoles deve receber os sinais de todas as demais. E ainda, permitir que cada tradutora possa selecionar o idioma que será sua base para a tradução. E ainda, controlar seu volume.

Evidentemente, quando o sistema de interpretação é projetado para vários idiomas, deve haver, no mínimo, a mesma quantidade de canais de distribuição. Esses canais apenas levam os sinais para os fones de ouvido utilizados pelos indivíduos interessados em receber a tradução.

Há sistemas que operam com distribuição com fio, e outros que fazem a distribuição sem fio. Geralmente os com fio são mais baratos e confiáveis. Contra eles pesa o argumento de que os usuários ficam umbilicalmente ligados à poltrona. Isso porque os fones devem ser plugados em jaques instalados em tomadas especiais, geralmente fixadas nas partes traseiras ou laterais das poltronas. Essas tomadas possuem knobs que permitem o ajuste individual de volume para cada fone, além de um ou mais seletores para a escolha dos canais desejados.

Mas os sistemas sem fio também não deixam os usuários totalmente livres. Com efeito, além dos fones de ouvido, também são usados receptores, providos de controle de volume e de seleção de canal. Esses receptores, embora pequenos, devem ficar de alguma maneira fixados aos usuários, como por exemplo pendurados em seus pescoços, ou fazendo parte integrante dos fones.

Além disso, esses receptores trabalham com baterias, que evidentemente devem estar permanentemente carregadas. O que exige o trabalho constante de troca, e de carregamento das unidades.

Os sistemas sem fio mais baratos são os do tipo elo indutivo. Nestes, os sinais amplificados são entregues a uma antena, geralmente instalada no local da plateia acima do nível aparente do forro, ou sob o piso. Ela passa a irradiar um campo eletromagnético, que é captado pelos captadores dos receptores. A grande desvantagem desse processo é que os níveis dos sinais são muito variáveis com diversos fatores. Por exemplo, quando a pessoa move sua cabeça para o lado.

Há sistemas sem fio que utilizam ondas de rádio, nesse caso geralmente nas faixas de VHF ou UHF. Há também os que operam por infravermelho. A qualidade destes últimos é excepcionalmente elevada. E seus preços, amargos até pouco tempo atrás, já são bem razoáveis agora.

1.9 SISTEMAS DE AJUDA AOS DEFICIENTES AUDITIVOS

Nos países do primeiro mundo, sistemas semelhantes aos de tradução simultânea são largamente empregados em escolas, locais públicos e auditórios em geral. Não para traduções, mas para auxiliar as pessoas com deficiências auditivas. Que correspondem a parcelas da população muito mais elevadas do que em geral supomos. Por essa razão, esses sistemas também são conhecidos como sistemas de ajuda aos deficientes auditivos.

1.10 SISTEMAS DE CINEMA

1.10.1 introdução Certamente o cinema nasceu em berço de ouro. Quando essa forma pública de lazer surgiu, o mercado estava tão ávido por ela quanto hoje estamos pela informática e alucinados pelos telefones celulares que reúnem impressionante quantidade de funções.

Embora o cinema tenha nascido mudo, a engenharia de áudio não tardaria a conferir-lhe voz própria.

Desse modo, a engenharia foi uma ponte que permitiu a transição do cinema, de mudo para sonoro. O som monofônico dos filmes logo ganharia mais galões, e seria promovido à categoria de estereofônico a dois canais.

As trilhas sonoras dos filmes contêm música e diálogos. A estereofonia, adequada para música, fazia os diálogos parecerem pouco naturais. De fato, durante os diálogos, os personagens estavam sempre no centro da tela. E o som era proveniente de suas partes laterais. O que exigiu esforços extras da engenharia para encontrar uma solução. Que veio na forma de um terceiro canal, cuja finalidade era processar apenas os diálogos. Esse terceiro canal deveria ser instalado sempre no centro da tela cinematográfica.

Mas já em 1934 o pesquisador russo N. Molodsov estabelecia todas as regras básicas de um sistema de áudio multicanais, especialmente imaginado para utilizar caixas acústicas extras que deveriam ser instaladas nas paredes laterais e no fundo dos cinemas. Os conceitos eram tão avançados para a época que toda a tecnologia atual ainda segue praticamente essas mesmas regras.

Alguns anos mais tarde, Walt Disney se interessou muito pelo trabalho de Molodsov, com vistas a usar os princípios por ele definidos em seu filme Fantasia. A ideia de Disney era poder criar efeitos sonoros multidimensionais.

Os engenheiros da Disney e os da RCA se puseram a pensar. O resultado foi o sistema FantaSound. A estreia do filme, feita em Nova Iorque no ano de 1940, foi uma verdadeira apoteose tecnológica.

O FantaSound processava quatro canais, aos quais correspondiam trilhas óticas gravadas num filme separado, e que era rodado em sincronismo com o filme de imagem. Os quatro canais de áudio eram reproduzidos por 56 caixas acústicas estrategicamente localizadas ao longo das paredes dos cinemas.

Esta seria a primeira vez que o cinema utilizaria um sistema de reprodução de som multicanais para criar a ilusão de movimento no espaço. Os efeitos eram controlados manualmente num mixer de áudio, pela rotação de potenciômetros panorâmicos (pan-pots).

No início dos anos 50 o mundo podia assistir ao sistema Cinerama, que já usava 7 canais de áudio.

Em 1957 a Rússia exibia para o mundo o seu sistema multicanal para cinema, o Kinopanorama. Agora, a novidade era a utilização de nada mais nada menos do que 9 canais de áudio. As trilhas também eram gravadas em pistas de um filme de 35 mm, que rodava sincronizado com o filme de imagens.

Em 1975 o Dr. Ray Dolby, fundador da Dolby Laboratories, lançava seu sistema estéreo para cinema, equipado com canais laterais, esquerdo e direito, canal central e surround. O THX, idealizado pelas Lucas, de George Lucas, não era propriamente um sistema. Mas algo que partia da plataforma Dolby, introduzindo-lhe algumas sofisticacões.

Portanto, os sistemas de reforço de trilhas de filmes para cinema não são sistemas de reforço do gênero convencional. As principais diferenças estão na quantidade de canais e no processamento dos canais central e surround, desenvolvidos com o objetivo básico de possibilitar a reprodução de inúmeros efeitos sonoros

especiais.

1.10.2 IMAX

Um dos grandes avanços do cinema veio com o conceito IMAX.

Parte integrante desse conceito é o som. Quem vai assistir a um IMAX pela primeira vez se surpreende. Não só assiste ao filme, mas o sente em suas entranhas.

Para quem não sabe, o sistema de som de cada sala de espetáculos IMAX é customizado. As caixas acústicas também são patenteadas. Seus pontos fortes são a resposta de frequência, a capacidade de operar com sinais de áudio amplificados de elevadíssima intensidade e, ainda, a diretividade. Um dos pontos mais importantes na cobertura dessa plataforma.

Os idealizadores do conceito IMAX logo entenderam o que não me canso de repetir. Que a experiência sônica é totalmente dependente da sala onde os sons são reproduzidos. Isso vale para estúdios, nossas casas e cinemas, entre outros. Isso fez com que a engenharia fosse posta em campo para lidar com isso de forma a reduzir as variáveis das quais a qualidade sônica depende.

Como resultado, a geometria das salas IMAX foi cuidadosamente estudada quanto aos efeitos acústicos, especialmente no que se refere à produção de modos acústicos. Ao fim desse trabalho geometrias de salas, seus formatos específicos, ângulos envolvidos e direções para as quais as caixas acústicas deveriam ser orientadas e, até mesmo dimensões, foram objeto de pedido de patente. Dessa maneira a arquitetura interna das salas IMAX acabou sendo moldada para que a qualidade sônica não fosse mera questão de escolha de “bons” equipamentos. Pontos fortes desse esforço extraordinário e inusitado foi o uso de isolamento acústico muito aperfeiçoado e da localização das caixas acústicas.

Tudo isso ajudou a produzir um sistema de reprodução sonora para cinema com propriedades muito especiais. Como diz o pessoal da IMAX, podemos ouvir um alfinete cair no piso do cinema e dizer exatamente onde ocorreu a queda.

Com muitas razões, outra preocupação constante do IMAX é a produção da trilha sonora. O que fez com fosse produzido um sistema digital proprietário denominado “Digital ReMastering Process”, que se propõe a remixar e remasterizar a trilha sonora original dos filmes, de sorte a recapturar uma gama dinâmica mais ampla do que antes e, principalmente, a usar artifícios técnicos para conferir mais brilho e pegada aos sons, de forma a tornar a experiência sônica mais excitante, sempre dependendo do contexto do próprio filme. Esse exercício ganha muita ênfase ao ser processado pelo sistema responsivo e proprietários das salas IMAX.

Um dos pontos principais da qualidade do som IMAX é que os sistemas de som são projetados para cada sala a partir de um nível de experiência muito evoluído, de onde prosseguem de forma totalmente customizada, à luz das particularidades de cada sala que,

como disse antes, são objeto de tratamento acústico muito elaborado. O uso de caixas acústicas com diretividade esculpida para as necessidades de cada sala acabam proporcionando uma experiência sônica muito homogênea por toda a plateia, o que não ocorre com salas convencionais de cinema, nas quais os “sweet spots” são a regra. A ideia nas salas IMAX é que ninguém precisa ficar procurando o melhor lugar. Ao menos do ponto de vista de som.

Outro ponto muito forte no conceito IMAX é que foi perfeitamente compreendido o fato que qualidade sônica exige esforços fora do comum. Um desses é a necessidade de retocar o som de forma permanente, para que o campo sonoro se adeque a cada momento ao NRA (Nível de Ruído Ambiente), à quantidade de espectadores na sala, *etc.* Para tanto as salas IMAX são equipadas com um sistema proprietário de microfones sensores para monitorar o campo de som em vários locais simultaneamente e, em especial, para monitorar cada canal de som.

Dessa forma é possível fazer calibrações em tempo real, otimizando o sistema de forma contínua como se fosse um servo dispositivo. A ideia é manter a qualidade sônica em seu potencial máximo por todo o tempo, sem quedas eventuais.

A IMAX se preocupa tanto com a qualidade das trilhas que seus profissionais, hoje muito experientes, trabalham com os estúdios e seus técnicos de som usando o Digital ReMastering Process para produzir trilhas sonoras otimizadas e muito peculiares, especialmente adaptadas a todo o aparato IMAX. Esse aparato é muito bem representado pelo ambiente interno das salas, cujo condicionamento acústico interno é orientado para proporcionar experiências aurais de elevado impacto.

As caixas acústicas das salas IMAX são alinhadas com uso de sofisticadas ferramentas laser, de sorte que uma radiação qualquer possa atingir uma moeda a 30,0 metros sem erros significativos. Daí a acuidade sônica que se tornou famosa nas salas IMAX.

Um ponto do qual a IMAX se orgulha muito é a gama dinâmica oferecida aos espectadores. Claro que isso passa por ter um NRA muito reduzido. Uma das grandes preocupações do tratamento acústico antes referido. Quando isso ocorre em todo o seu potencial, a equipe da IMAX logo chama essa experiência de “visceral”.

A IMAX mantém um centro operacional que monitora cada sala instalada no planeta terra por 24x7x365. O objetivo é assegurar a manutenção permanente de desempenho otimizado de todos os sistemas de som de todas as salas IMAX. Sem qualquer exceção. Esse sistema é tão preciso que se em qualquer sala alguém resolve aumentar ou diminuir o volume manualmente, o sistema de monitoração remota é informado e, instantaneamente, volta aos ajustes originais podendo até impedir que novas tentativas tenham sequência.

1.10.3 Dolby Atmos A ideia de som multicanal em cinemas está próxima de completar um

século de vida. Nos anos 30 Walt Disney já sonhava com som estéreo na tela, seguindo os movimentos de seu personagem. Ele também anteviu o som surround como ferramenta para produzir efeitos de grande intensidade e forte conteúdo emocional. Achando que as ideias de Disney eram muito promissoras, a RCA passou a se interessar muito por essas novas experiências.

EM 1931 os Estúdios Columbia em Hayes, Middlesex, já pesquisavam sons estéreo para cinema. Quem entrou em cena para socorrer a Columbia foi Alan Blumlein, que passou a empregar captação microfônica com suas técnicas recém desenvolvidas.

Pouco antes da II Grande Guerra Mundial é lançado o Fantasound, dos Estúdios Disney. Quando o aparato Fantasound, muito caro e exótico já tinha sido instalado em 14 cinemas, a guerra mundial acabou com a festa. A RCA passou a produzir exclusivamente itens utilizados pelas forças militares.

Pessoalmente considero que o som do cinema era uma coisa antes de 1952 e outra, muito diferente, depois. Sim senhor. Para mim 1952 constitui um marco definitivo. Porque, naquele ano, chega aos cinemas o som com autêntica chancela de Alta Fidelidade. Ele é parte dos filmes Cinerama, que usavam três projetores de 35mm sincronizados para criar imagem que cobria todo o campo de visão dos espectadores. Uma banda magnética de áudio, separada do vídeo, continha 7 canais de áudio. O surround já era, então, uma realidade. O conceito cinerama não suportou seus elevados custos e sucumbiu. Mas o que foi produzido mostrou ao mundo que era possível associar excelentes imagens a sons de alta fidelidade com surround.

No mesmo ano de 1952 a Warner Bros. também lançou o seu filme “Bwana Devil” com som estéreo de 3 canais frontais mais canais frontais. Existia até uma pista mono para compatibilidade com cinemas ainda não equipados com som estéreo, com ou sem som surround.

Em 1953 a Twentieth Century Fox lançava filmes com 4 canais, 3 dos quais eram usados para gerar os canais L, C e R e o quarto canal era usado para produzir efeitos surround. As imagens eram geradas com o auxílio de lentes anamórficas que “exprimiam” as imagens para que fossem fotografadas dessa forma. Posteriormente elas eram expandidas de volta para seus formatos bem largos. Era o CinemaScope.

Em 1955 foi inaugurado o cine Rivoli, na Broadway. Eram usados projetores de 35mm com 5 canais de áudio, todos para atrás da tela, e mais um canal para o surround. Esse era o sistema TODD-AO. Em alguns casos, as trilhas eram codificadas pela Perspecta e, então, os canais surround eram 3: o canal esquerdo, o central e o direito.

O final dos anos 50 e os anos 60 praticamente não trouxeram novidades quanto ao som. Eis que, já nos anos 70, Ray Dolby resolveu aplicar seu sistema de redução de ruídos ao cinema.

Por sinal, com retumbante sucesso. Agora, o som já não era mais magnético, mas ótico.

Em 1975 foi lançado o filme “Tommy”, protagonizado pela banda The Who. Foi utilizada a projeção de imagens 35 milímetros para possibilitar que fossem reproduzidos 5 canais de áudio. Mas o leiaute era semelhante ao CinemaScope. Apenas 4 canais de áudio. Até que o primeiro filme com o verdadeiro som Dolby Stereo foi lançado em 1975. Era o “Lizstomania”. Contudo, muitos acham que o primeiro filme com Dolby Stereo foi o “Star Wars”, lançado em 1976. O que é falso. Um sistema matricial permitia gravar 4 pistas em apenas dois canais, o que podia ser facilmente gravado no filme, para posterior decodificação e recuperação dos 4 canais originais.

Entretanto, a redução de tamanho físico da faixa contendo o áudio trouxe um incremento no ruído de fundo. O que foi contrabalançado pelo sistema de redução de ruídos Dolby.

E assim, cada vez mais Ray Dolby estava mergulhado na indústria do cinema.

Por falar em Star Wars aproveito para citar uma das máximas de George Lucas.

Uma ocasião alguém perguntou a Lucas o que ele achava das trilhas sonoras dos filmes. Ao que ele respondeu que, em sua opinião, as trilhas sonoras dos filmes, sons, efeitos e música, eram 50% do entretenimento em qualquer filme.

Com a chegada do CD nos anos 80 a digitalização do som produziu plateias para cinema cada vez mais exigentes. Especialmente com as baixas frequências e seus efeitos característicos. A ponto de muitos cinemas antigos terem, literalmente, tetos desabando por força das vibrações produzidas por subwoofers.

Dolby agora estava trabalhando para aperfeiçoar o som magnético, principalmente com sofisticados sistemas de redução de ruído. Dolby estava preocupado em também dedicar um canal apenas aos efeitos de baixas frequências e introduzindo um surround estéreo. Essa técnica foi empregada experimentalmente no filme “Superwoman” lançado em 1978 no Leicester Square. Em virtude do estrepitoso sucesso no ano seguinte foi lançado o filme “Apocalypse Now”, agora em cinemas por todo o mundo.

Apesar dos esforços, a indústria elegeu o sistema Dolby ótico como o seu padrão. Os novos cinemas passaram a se adaptar a isso. Especialmente os novos Multiplex.

Em 1990 uma novidade. A Kodak juntamente com a Optical Radiation Co. lançam seu sistema de som digital para cinema, com o filme “Dick Tracey”. O padrão utilizou caixas acústicas localizadas exatamente como sistema Dolby para projeções de 70 milímetros. Ou seja, canais frontais L, C e R, surrounds L e R e mais um canal para subwoofers.

Nova surpresa em 1992. O filme Batman da Warner Bros usava o sistema de som digital Dolby. Agora, a novidade estava no local onde os dados eram registrados. Entre os furos de tração do filme.

O filme Jurassic Park de Speilberg usava o sistema DTS (Digital Theater system). O áudio não estava mais no filme, mas num CD que era reproduzido em sincronismo com as imagens.

Em 1993 a Sony lança o seu sistema surround. Usado pela Columbia no filme “Last Action Hero”. Só que o CD não era usado pela Sony, que volta com o áudio para o filme. A forma de fazer isso tornou o som estéreo muito caro.

Pior do que isso, os sistemas Dolby, Kodak e Sony não eram compatíveis entre si. O que significava que os proprietários de cinema tinham investir em triplicata e rezar para que não surgissem mais novos sistemas. Bem, creio que esse breve histórico já pode oferecer a você um belo panorama do que está por trás das novas técnicas multicanais. Nessas últimas décadas vários foram os pesquisadores que fizeram estudos e experiências com sistemas de som com grande quantidade de canais. Além disso, muitos autores também mergulharam no assunto, desenvolveram pesquisas práticas e publicaram em canais oficiais os resultados a que chegaram.

Tudo isso cria uma avenida de conhecimentos científicos que pontua e orienta os caminhos da tecnologia. Para que você tenha uma ideia disso achei por bem apresentar a figura 1.3, adiante, que é parte integrante de um artigo escrito por R. Vermeulen, matéria publicada em abril de 1958 no Jornal da Audio Engineering Society, no. 2, vol 6, páginas 124 a 130.

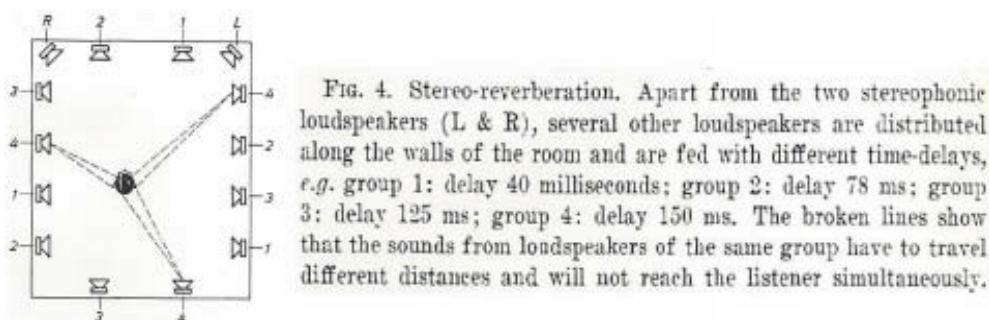


figura 1.3 representação de ideia de som multipista para cinema, parte de artigo escrito por R. Vermeulen e veiculado em abril de 1958 em Jornal da Audio Engineering Society (no. 2, vol 6, páginas 124 a 130) cortesia Audio Engineering Society Deixei a legenda original para que você entenda melhor o contexto em que esse material foi gerado. Mas note que em 1958 já se pesquisava com forte conteúdo científico som para cinema e para salas de música com canais L e R e mais 12 canais. Mas há experiências envolvendo uma centena de canais.

Uma ocasião George Lucas opinou sobre as trilhas sonoras dos filmes afirmando que 50% do entretenimento em qualquer filme é o som e a música.

E então, depois de tudo isso, desaguamos no Dolby Atmos.

O que é exatamente Atmos? Posso lhes assegurar que é um caminho totalmente diferente de produzir som para cinemas. Ao invés de visualizar as trilhas como canais individuais de som, a Dolby idealizou um campo de som mais ou menos contínuo no espaço 3D que envolve completamente a plateia. Assim, a imersão sônica é total.

Para que você entenda melhor o conceito Atmos melhor mesmo é ver uma figura mostrando como o sistema é implementado. Ainda não podemos fazer isso com a parte eletrônica do

sistema, mas podemos com a parte eletroacústica, que é precisamente a intenção da figura 1.4.

A foto da figura 1.4 não mostra o que está atrás da tela. Esse é o propósito da figura 1.5. Então, vamos voltar para a figura 1.4. Você pode perceber que há uma longa linha de caixas acústicas colocadas na parte superior da parede lateral direita da sala.

O mesmo acontece com a parede lateral esquerda.

Note que também que há duas fileiras de caixas acústicas instaladas no teto da sala. Uma dessas fileiras está colocada paralela à linha medial da sala, com pequeno deslocamento em relação a ela. A outra fileira é simétrica tendo o eixo medial como eixo de simetria. Portanto, essa segunda fileira de caixas acústicas tem pequeno deslocamento para a direita da linha medial.

A figura também mostra claramente que há uma fileira de caixas acústicas colocada na parte mais elevada da parede no fundo da sala.



figura 1.4 foto panorâmica de cinema equipado com sistema Dolby Atmos cortesia Dolby Labs



figura 1.5 foto de aparato de som por trás da tela num cinema equipado com Dolby Atmos cortesia Krikorian Premiere Theaters A figura 1.5 mostra que os canais frontais não são mais três, mas agora, cinco. Ainda temos os tradicionais canais L, C e R e, além deles, um canal intermediário entre o C e o L e um outro canal intermediário, agora entre o C e o R. E, naturalmente, os subwoofers.

Por sinal, além dos subwoofers frontais o Atmos usa mais alguns subwoofers estrategicamente localizados pela sala aos pares, de forma simétrica em relação ao eixo medial. A quantidade de subwoofers depende exclusivamente do tamanho da sala.

Com razão a Dolby sustenta que o Atmos incorpora dois novos conceitos: o áudio como objeto e o campo sonoro proveniente de cima. A combinação desses dois conceitos muda completamente a criação das trilhas sonoras bem como elas são percebidas pelas plateias.

Antes do Atmos, todos os cinemas podiam gerar campos sonoros com sons específicos chegando de diferentes direções, mas sempre com ângulos determinados. Sem a possibilidade de mover a fonte sonora para cima de qualquer espectador. Logo, nesse tipo de campo sonoro

os sons são apenas o resultado de mixagens entre os canais existentes. O que significa que realçar um determinado som passa necessariamente pela atenuação de outros.

Ao contrário disso, no sistema Atmos todos os sons podem conviver livremente em todos os canais, até o limite de 128 canais.

Eis aí a essência do conceito de tratar cada som como objeto, o que tem, por assim dizer, vida própria e independente dos demais sons.

Mais importante ainda é que os objetos podem ser localizados com muita acuidade onde desejado e movimentados em quaisquer rotas que se queira, com quaisquer velocidades que as cenas possam exigir, criando um espaço tridimensional muito dinâmico para cada objeto individualmente considerado, mas também para todos os objetos em termos de entidade sônica global. Isso é bem diferente de confinar a trilha a alguns poucos canais. Naturalmente tudo isso é feito até mesmo por questões de compatibilidade.

Aliás, compatibilidade é um dos pontos muito fortes do sistema Atmos. Neste momento é hora de entrar naquela parte eletrônica que disse que não poderia representar com um simples desenho.

Os processadores Dolby que, em minha opinião são o coração de todos os sistemas digitais produzidos pela Dolby são, para o Atmos, a verdadeira alma da plataforma. Denominados RMU, acrônimo para Dolby Rendering and Mastering Unit, esses processadores incluem o engenho digital que decodifica o mix para o palco, possui todas as ferramentas para configurar o sistema de forma ótima para cada sala, efetua toda a gerência e lógica necessária para o processamento e divisão e endereçamento de sinais, incluindo a masterização em tempo real.

Os processadores Dolby para o sistema Atmos se valem de conectividade MADI e empregam fartamente os recursos da Ethernet.

Sim, agora, o processador Dolby Atmos ganhou inteligência para analisar e decidir sem a necessidade de interferência humana como os sons serão distribuídos pela sala em função dos recursos disponíveis de modo a recriar a experiência sônica embutida na trilha e criada pelo Sound Designer.

O resultado de tudo isso é uma experiência sônica totalmente nova e diferente nos cinemas, impossível de se viver, exceto em casos de testes especiais e de ambientes montados para experiências aurais isoladas.

Mesmo assim, sem todo o vigor de um processamento baseado no enorme acervo de conhecimentos adquiridos por uma empresa séria e competente como a Dolby. A imersão sônica total não se apresenta sozinha, pois está bastante atrelada à experiência visual e à ação impregnada nas imagens. Tudo isso confere uma percepção caracterizada por forte impacto ao longo de todo o tempo de exibição do filme, além de uma experiência sônica muito robusta e

excitante. A intensidade da percepção é de indescritível nível de energia.

A figura 1.6 mostra como os cinemas exibem o dístico Dolby Atmos com orgulho, no caso da figura colocado bem acima da porta de acesso do público à sala de projeção.

Ainda assim, um dos obstáculos para o sucesso total da plataforma Atmos é a quantidade de cinemas já equipados hoje para essa novidade. Como você viu os avanços com a tecnologia para cinemas depende muito mais do que os estúdios pensam e produzem, cabendo aos cinemas se ajustar a isso. Neste momento são muitos os filmes que estão sendo produzidos em Dolby Atmos. Considerando ainda o extraordinário potencial desse conceito aural e que sua implementação nos cinemas não exige investimentos muito pesados, fica fácil antever que esse será o caminho daqui para a frente.



figura 1.6 foto de foyer de acesso de sala de cinema equipada com sistema Dolby Atmos cortesia Krikorian Premiere Theaters Para apoiar essa antecipação fica o fato de que muitos mixers utilizados em estúdios que lidam com áudio para cinema já estarem totalmente adaptados para o Dolby Atmos.

Entre esses estão os mixers da Neve da série DFC (Digital Film Console) que já suportam de forma nativa o Atmos, os consoles da Harrison das linhas MPC e Trion equipados com Engenhos de Automação IKIS, que podem ser atualizados a qualquer tempo e estabelecer comunicação com os processadores Dolby RMU e, com isso, controlar cada objeto através de um canal do mixer. A integração com o Avid Pro Tools 10 ou posterior e com o System 5 também é um fato. O elemento de integração é um plug-in da Dolby, o Dolby Atmos Panner. Esse plug-in tem a capacidade de enviar metadados para o processador RMU de sorte a possibilitar que o controle dos objetos seja exercido a partir do mixer.

Claro que a Dolby oferece instruções completas a respeito, em seu **Authoring for Dolby Atmos Cinema Sound Manual**, que pode ser baixado do site da Dolby na forma de arquivo pdf. Algo que recomendo para os leitores interessados no futuro do som para cinema.

Por tudo isso, em alguns projetos de cinema que estava fazendo no momento que escrevia estas linhas, me vi obrigado a, previamente, consultar os proprietários a respeito da ideia de projetar desde o início essas novas salas de espetáculos com todos os recursos necessários para dar suporte total ao Dolby Atmos em sua plenitude. Mesmo que os proprietários não queiram equipar as salas com Dolby Atmos de partida, fica muito mais fácil equipar futuramente se tudo tiver sido pensado e preparado com a devida antecedência.

Evidentemente, a Dolby também mirou no mercado dos Home Theaters, para o qual oferece

duas versões simplificadas do Atmos. Uma baseada em 5.1 e outra em 7.1.2. Também aqui com a oferta de literatura, agora o **Dolby Atmos Speaker Setup Guide**.

1.11 SISTEMAS DE SEGURANÇA Uma das tendências atuais da construção civil é equipar as modernas edificações com sofisticados sistemas de supervisão predial. Tais sistemas são capazes de controlar toda a operação do sistema de condicionamento de ar, de racionalizar o fluxo de pessoas pelo interior dos prédios, inclusive de impor o funcionamento lógico do conjunto de elevadores, de ajustar o consumo de energia elétrica às reais necessidades de consumo em cada momento, de controlar a operação da iluminação dos prédios com o objetivo de evitar desperdícios, de monitorar e operar os sistemas de segurança, como o de incêndio, e assim por diante.

Os sistemas convencionais de detecção e de combate a incêndios incluem vários dispositivos e sensores. Mas na eventualidade de ocorrência real de uma dessas emergências, a evacuação do prédio é procedimento obrigatório. Até pouco tempo atrás, os sistemas eletrônicos que davam apoio a estas operações de evacuação estavam totalmente baseados na geração de diversos tons acústicos, reproduzidos por sirenes ou falantes.

Infelizmente, nos últimos anos houve vários casos de incêndios com vítimas fatais. Alguns desses incêndios ocorreram em território inglês. Preocupadas, as autoridades locais imediatamente determinaram que fossem feitos estudos visando identificar possíveis aspectos que pudessem ser melhorados com vistas a aumentar a segurança das pessoas. Especialmente no que se referia à evacuação dos prédios.

Ao final dos estudos surgiram vários resultados conclusivos. Um deles mostrava claramente que as populações dos edifícios comerciais não eram compostas exclusivamente por indivíduos residentes. E em vários momentos do dia o percentual médio de visitantes era muito elevado. Esses indivíduos visitantes nem sempre estavam familiarizados com os tons dos particulares sistemas instalados nos prédios. De forma que eles acabavam por não entender as sinalizações acústicas, especialmente levando em conta que esses reconhecimentos devem ser feitos em momentos de pânico. Os estudos também mostraram um acentuado grau de dificuldade das pessoas para encontrar saídas e rotas de fuga, e mesmo de se deslocar, na presença de fumaça.

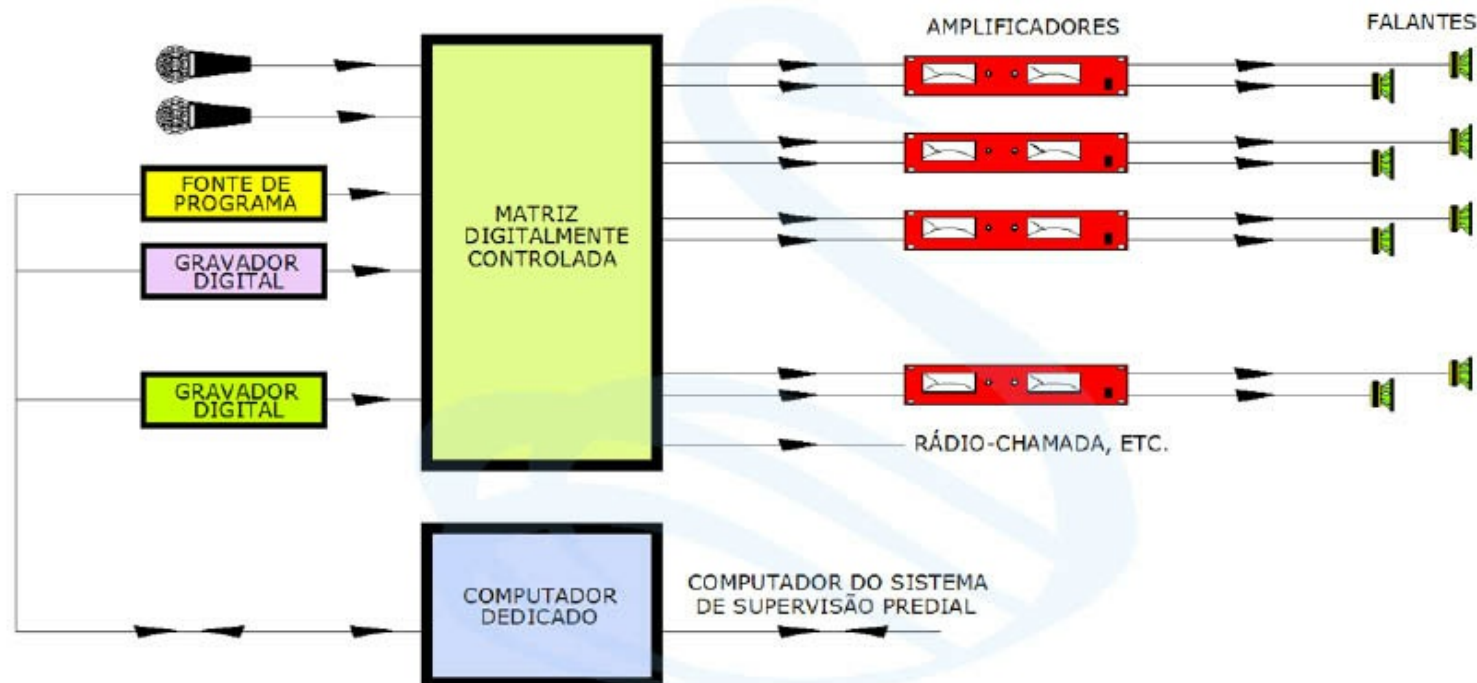


figura 1.7 configuração típica de um sistema de segurança predial acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A recomendação foi para que os sistemas de distribuição de música funcional, avisos e chamadas também fossem utilizados durante casos de emergência. Principalmente para gerar mensagens através dos falantes.

Assim, os sistemas de sonorização passaram a ser complementos quase que indispensáveis dos sistemas de supervisão predial, especialmente para uso em casos de emergência, como incêndios e invasões de prédios.

Entretanto, para uso com os sistemas de supervisão, os sistemas de sonorização devem possuir arquiteturas próprias. Como mostra a figura 1.7.

No lado esquerdo da figura aparece um microfone, algumas fontes de programa e vários gravadores digitais, contendo mensagens pré gravadas. Todas essas fontes vão ter à entrada de uma matriz digitalmente controlada. As saídas desta são ligadas a amplificadores, que por sua vez trabalham com falantes estrategicamente distribuídos pelo prédio. Os falantes correspondentes a cada amplificador ficam concentrados em áreas afim, de sorte a favorecer a setorização das mensagens. Por exemplo, um setor por pavimento, ou por meio pavimento.

O controle da matriz é exercido por um microcomputador convencional, com programas específicos desenvolvidos para essa exclusiva aplicação. O prédio pode ser pictoricamente representado na tela, por pavimentos, por áreas ou regiões. Enfim, como for desejado. A operação do sistema pode ser feita, por exemplo, através de mouse ou de tela tipo “touch screen”.

Embora o sistema de sonorização possa operar de modo autônomo, é imperativo que ele também possa ser operado a partir do sistema de supervisão predial. O controle do sistema de som pelo de supervisão predial justifica-se porque, é este último, com seus sensores, o único que pode detectar situações de emergência, e a partir disso acionar o sistema de som. Para tanto, o computador do sistema de som deve possuir comunicação com o computador do

sistema de supervisão predial. O que pode ser feito através de um protocolo extremamente simples.

Vamos ver como tudo isso se passa através de um exemplo prático.

Imagine um prédio com 12 pavimentos, dotado de heliponto acima de seu último pavimento. Num dado momento, o sistema de supervisão predial detecta um princípio de incêndio no 5º pavimento. Três mensagens serão acionadas simultaneamente pelo sistema de som, por solicitação do sistema de supervisão predial. Para o 5º pavimento, a mensagem será para que as pessoas procurem rotas de fuga, que inclusive podem estar equipadas com sinalização visual auxiliar. O sistema de sonorização também pode, entre suas mensagens, informar sobre essas informações de indicação de acesso.

Os pavimentos 6º a 12º estarão recebendo mensagens para que as pessoas não utilizem elevadores, mas as escadas para subir até o heliponto, para esperar por resgate. E a mensagem para os pavimentos abaixo do 5º será para que as pessoas desçam pelas escadas para deixar o prédio.

A utilização de escadas externas de emergência também pode ser divulgada pelo sistema de sonorização.

As mensagens podem ser programadas para repetição por tempo indeterminado, para séries finitas, para alternância entre mensagens, ou para como for desejado.

O sucesso desses sistemas depende muito de dois cuidados prévios fundamentais.

O primeiro refere-se à necessidade imperiosa de se programar o sistema à luz do que realmente pode ocorrer. Isto é, inicialmente é preciso levantar cada uma das possíveis situações de emergência com as quais se quer lidar. A seguir, cada uma delas precisa ser detidamente avaliada, com o objetivo de se determinar que atitudes devem ser tomadas. A partir disso, define-se o que se espera que o sistema faça. E este planejamento prévio é a base para toda a definição das mensagens, para onde encaminhá-las em casos reais de emergência, com que frequência, e assim por diante.

O segundo cuidado fundamental é com a confiabilidade do sistema. Itens críticos devem ser previstos com redundância. A exemplo dos computadores. A fonte de alimentação deve ser suportada por um sistema “no break” de elevada autonomia. Recomendo um mínimo de 4 horas, estabelecidas para consumo máximo do sistema. A infraestrutura deve ser apropriada para proteger a fiação do sistema mesmo em casos de elevadíssimas temperaturas. Os falantes e peças expostas devem ser à prova de calor, e eventualmente, de explosão. E todos os demais aspectos que tenham influência direta na confiabilidade do sistema devem ser engenheirados de acordo.

Naturalmente, esses sistemas também podem ser utilizados como sistemas de distribuição

de música, avisos e chamadas, condição que deve ser imediatamente abandonada em qualquer situação de emergência. Ou mesmo apenas de mera sinalização nesse sentido. Ainda que falsa. É apenas uma questão de prioridade.

Durante o uso dos sistemas para a geração de avisos e chamadas, a setorização também pode ser feita vantajosamente através do computador, que atua diretamente sobre a matriz digitalmente controlada.

Ainda como vantagens desses sistemas está a possibilidade de encaminhamento automático de mensagens, com gerenciamento pelo computador. Como por exemplo mensagens de bom dia no início de cada período de expediente, de informações de encerramento das atividades no dia, de informações de utilidade pública em geral, e quaisquer outras mensagens desejadas, que podem ser programas para quaisquer horários desejados e taxas de repetição.

As modernas arenas de futebol, como as construídas para a Copa do Mundo 2014 no Brasil, são equipadas com sistema de sonorização. Por questões legais esses sistemas devem ser projetados de acordo com o Caderno de Encargos da FIFA, que estabelece as condições gerais de como esses sistemas devem ser projetados, bem como suas especificações.

Vale ressaltar que a FIFA considera que esses sistemas são, acima de tudo, ferramentas à disposição do aparato de segurança.

Se você tiver oportunidade, recomendo que leia a parte do Caderno de Encargos da FIFA que se refere ao sistema de sonorização. Esse documento pode ser encontrado com facilidade na Internet, de onde pode ser baixado.

Para caracterizar o que acabei de dizer, gostaria de acrescentar que há poucos anos houve uma ameaça de bomba no Estádio Santiago Bernabeu, sede do Real Madrid, durante um jogo. Essa ameaça foi levada a sério e o estádio evacuado. O tempo total de evacuação foi inferior a 8 minutos. O que, em grande parte, se deveu ao sistema de sonorização de segurança também projetado para ter essa função. Esse sistema foi implantado pelo ElectroVoice Bosch, em total obediência às recomendações e especificações estabelecidas pela FIFA.

Se você tiver interesse em ver o clipe desse incidente basta se valer do link <https://www.youtube.com/watch?v=EahkzIqvyq0>

1.12 SISTEMAS MÓVEIS

Como o nome sugere, sistemas móveis são aqueles projetados para equipar objetos móveis, tais como trens, metrô, aeronaves, trólebus elétricos, barcos e assim por diante.

Como cada um desses veículos possui configuração e características próprias, o mesmo ocorre com os sistemas que os equipam. Assim, todos eles são sistemas do mesmo tipo, mas marcados por diferenças profundas entre si.

Por outro lado, todos eles possuem algo em comum. Que é o elevado grau de dificuldade de concepção, e a invariável complexidade técnica.

1.13 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO

Nem sempre um programa gerado ou reproduzido num local é utilizado só nesse mesmo local. Exemplo disso são as emissoras de rádio, que transmitem sua programação para uma ampla região, através de ondas de rádio.

Mas este não é o único exemplo. Outros são o advento das teleconferências baseadas em áudio e/ou vídeo, e a transmissão de música por linhas telefônicas, que podem incluir linques de subida e descida e passagem por satélites, além de outros.

1.14 SISTEMAS INDUSTRIAIS

Algumas instalações industriais exigem sistemas de sonorização com características próprias. São um misto de sistema de comunicação, com central e ramais, e sistema de avisos e chamadas. Os pontos telefônicos, ou ramais, são instalados em vários locais da planta, em áreas internas e externas. Eles são interligados de modo a permitir a comunicação direta entre ramais, ou apenas através da central.

Ao mesmo tempo, o monofone pode fazer o papel de microfone, e endereçar avisos e mensagens em geral, e de emergência em particular, que podem ser endereçados para um ou mais setores. Estes são atendidos por cornetas acústicas energizadas a partir de amplificadores, usualmente da variedade alta impedância/voltagem constante.

Tais sistemas podem assumir inúmeras configurações, o que depende apenas do que deseja cada uma dessas empresas.

Muitas vezes os sistemas industriais utilizam sistemas de transmissão, o que se deve às grandes distâncias envolvidas.

Recentemente a Digital Tecnologia de Áudio e Vídeo participou de um consórcio que implantou um sistema de sonorização cuja área de atendimento era extraordinariamente grande. Foi necessário utilizar um complexo aparato de transmissão, parte dele baseado em fibras óticas. O que é um exemplo do que acabei de dizer.

1.15 SISTEMAS ESPECIAIS

Quaisquer sistemas projetados para atender necessidades específicas, geralmente caracterizadas por situações inusitadas ou pouco comuns, são sistemas especiais.

Ainda me lembro de uma série de reuniões que tive com um cliente. Ele pretendia montar um museu com grande quantidade de objetos antigos. Embora o museu exibisse apenas antiguidades, sua operação deveria ser bastante moderna. Ao contrário de outros museus, que identificam suas peças com textos impressos em placas, as quais são fixadas nas proximidades das peças, neste caso os proprietários do museu julgaram melhor fazer algo bem diferente.

As visitas seriam feitas em grupos de pessoas. A ideia inicial era que cada grupo deveria ser acompanhado por um guia, cuja função seria informar as pessoas do grupo sobre cada peça, numa dada sequência.

Posteriormente, os clientes preferiram substituir os guias por um sofisticado sistema de som e de vídeo. A parte do som teria a função de reproduzir um determinado texto tantas vezes quantas fossem os grupos de visitantes. O texto deveria ser fragmentado em partes, e cada parte reproduzida num local do museu. Claro que sequencialmente. Entretanto, a velocidade dessa sequência de reprodução deveria estar automaticamente sincronizada com a velocidade de evolução do grupo em seu trajeto. E para complicar mais um pouco, poderiam haver vários grupos visitando o museu simultaneamente, cada um deles com um certo defasamento em relação ao anterior e ao subsequente.

Como resultado, o sistema deveria apresentar o mesmo texto para cada grupo, sendo que para cada um o texto deveria corresponder ao local onde o grupo estivesse em cada momento.

Naturalmente, era de se esperar que um grupo de casais de idade, com certa dificuldade de locomoção, e com muito interesse nas peças do museu, demorasse bem mais do que um grupo de crianças, sem maior interesse cultural, e que lá estivesse apenas para cumprir uma agenda escolar. O que determinava os limites máximos e mínimos de defasamento entre grupos sucessivos.

Pois bem, todas essas diferenças de tempo deveriam controlar o ritmo das sequências das várias reproduções. O que implicou num sofisticado projeto de sensores especiais, controlando as temporizações do sistema de som.

Além disso, avisos gerais deveriam ser dados para informar a todos os grupos presentes sobre os horários de eventos especiais que o museu também apresentaria. Inclusive a respeito de seções de vídeo, tratadas pelo sistema de vídeo, cujos temas seriam sempre afinados com o propósito básico do museu.

Naturalmente, o reforço das trilhas de vídeo também deveria ser feito por outra parte do sistema de sonorização.

Esse é, sem dúvida, um exemplo de sistema especial.

1.16 SISTEMAS COMBINADOS

Quaisquer combinações dos sistemas anteriores dão origem aos sistemas combinados.

Na prática, a grande maioria dos sistemas é mesmo uma combinação em alguma proporção.

1.17 SISTEMAS DIGITALMENTE CONTROLADOS

Nos tópicos 1.6 e 1.11 vimos exemplos insofismáveis de sistemas digitalmente controlados. Entretanto, creio que o controle digital aplicável aos sistemas de áudio é algo que tende a se alastrar rapidamente para todos os demais tipos de sistemas. Razão pela qual vou me deter um pouco mais nesse assunto.

Neste ponto exato gostaria de mencionar as seguintes palavras, ditas por Donald Davis em 1992 “trabalho com áudio há mais de quarenta anos, e com base em minha experiência digo que muitas vezes leva mais de dez anos entre a introdução da ideia de um bom produto de áudio e sua aceitação pelos usuários e indústria, e frequentemente, também pelos fabricantes de equipamentos”.

Muito se tem falado a respeito de controle digital nos últimos anos. Por exemplo, equipamentos cujo controle pode encaminhar mensagens para comutação de campos de jaques, para controle de atenuação em amplificadores, para inserção de processadores de sinal nos sistemas de áudio, ou para controle de seus parâmetros, para a monitoração completa da correta operação de todos os componentes dos sistemas, e assim por diante.

Devo prevenir que muitos consultores internacionais pensam que tais controles são praticamente sabotagens contra sistemas que já operam satisfatoriamente. E de fato tais opiniões são respaldadas por alguns casos que realmente resultaram em verdadeiras catástrofes.

Também acredito que nenhum de nós está predisposto a transferir totalmente a operação de nossos sistemas para computadores e programas que não mereçam nossa integral confiança.

Entretanto, essa mesma situação já foi vivida quando os primeiros pilotos automáticos foram introduzidos nas aeronaves. E depois, quando os sistemas computadorizados de voo de largo espectro estavam sendo testados. Entretanto, os computadores de bordo, hoje consagrados em todos os tipos de aeronave, já chegaram até mesmo aos automóveis. Você ainda se lembra do que eram as suspensões ativas na fórmula 1?

Pois bem, de volta a nosso assunto.

As empresas IED e Crown já possuem algumas instalações de sistemas profissionais de áudio digitalmente controlados, que estão operando por tempo suficiente para mostrar que a técnica é viável e já está bastante madura. Por outro lado, certamente ainda há algumas perguntas que precisam de respostas convincentes.

Porque exatamente instalar controle por computador? Quais são as vantagens e desvantagens? Isso aumenta ou diminui o custo? Se aumenta, a nova relação custo/benefício vale a pena para os clientes? Todos os sistemas são compatíveis entre si? Podem os dados de

controle seguir em duas direções, de forma que para cada comando enviado tenhamos retorno para nos informar que a tarefa solicitada foi realmente realizada, ou não?

Esse conjunto de questões nos ensinará em breve bastante sobre os controles digitais, e sobre suas relações custo/benefício.

Julgo que devemos esta nossa discussão ao universo MIDI, que é a origem de tudo isso.

Em novembro de 1.981, durante a 70ª Convenção da AES, Dave Smith e Chet Wood apresentaram as ideias fundamentais de um padrão de interconexão digital para instrumentos musicais eletrônicos.

No final de 1.982 o nome de batismo dado a esse padrão foi MIDI, que é uma abreviação para **Musical Instrument Digital Interface**. Estamos falando de uma especificação de códigos digitais utilizados para a transmissão em tempo real de informações de temporização e de controle musical, e do hardware de interfaceamento através do qual os códigos são transmitidos.

Os comandos incluem o acionamento e a desativação de algumas funções, bem como variações de taxas e localização de canais, já que este protocolo trabalha com mais do que um só canal.

O MIDI foi originalmente concebido para que os músicos controlassem seus teclados, sequenciadores, samplers, e instrumentos eletrônicos de percussão. Os comandos também podiam operar com processadores de sinal, como reverberadores, equalizadores, e mesmo consoles de mixagem automatizadas.

Dessa forma, um sequenciador podia aglutinar todos os equipamentos musicais eletrônicos num estúdio. O sequenciador podia então “gravar” cada instrumento, um por vez, e depois reproduzir tudo simultaneamente. E em seu estúdio de garagem um só músico poderia então contar com sua criação para formar eletronicamente uma banda completa.

Hoje, o MIDI já vem sendo usado em pós produção de áudio e de vídeo, espetáculos em palco, apresentações automatizadas em parques temáticos, multimídia e mesmo em broadcasting.

Mas o MIDI também apresenta seus próprios problemas. Por exemplo, os dados para os diferentes canais não são fisicamente separados. Logo, se muitos dados forem transmitidos, os últimos terão que esperar por sua vez. O que muitas vezes não é tolerável, até porque isso pode provocar efeitos sônicos perceptíveis. Em outras palavras, o controle MIDI nem sempre é apropriado para aplicações profissionais em tempo real.

Dessa forma, pode-se dizer que o MIDI não é a ferramenta mais adequada para o controle de grandes sistemas de som, especialmente se for desejável que outras funções também sejam controladas, como as de iluminação e de vídeo.

Outra desvantagem é que a distância de trabalho com MIDI é sempre bastante limitada. Não perdendo a oportunidade, algumas empresas desenvolveram e já oferecem no mercado interfaces capazes de aumentar as distâncias operacionais do MIDI. O melhor exemplo disso são as interfaces que utilizam fibras óticas, da Lone Wolf.

Em razão dessas limitações formou-se um consenso entre os engenheiros de áudio profissional, abrangendo também as empresas que desenvolvem controles digitais para sistemas de grande porte, que seria melhor que se trabalhasse com algo capaz de superar as limitações inerentes do MIDI.

Se por um lado o desenvolvimento do MIDI continua a plenos pulmões, também surgiram alternativas para ele, como o MidiaLink, também da Lone Wolf.

Aproximadamente no mesmo momento em que os músicos começaram a utilizar MIDI em seus estúdios, a IED começou a desenvolver o seu primeiro sistema controlado por computador, para aplicações em aeroportos, centros de convenção e parques temáticos.

O computador escolhido foi um Sony, com porta serial RS-422. A propósito, o protocolo RS-422 foi o precursor do PA-422, sendo que este já incorpora acopladores óticos e muitas outras melhoras.

Posteriormente, a mesma IED desenvolveu dispositivos digitais para gravação de mensagens. Os primeiros deles instalados no Aeroporto de Columbus, Estados Unidos.

Na sequência, a IED desenvolveu uma sofisticada matriz programável. E atualmente essa empresa detém a maioria dos sistemas instalados nos aeroportos nos Estados Unidos.

Outra empresa que se aplicou à técnica de controlar digitalmente os sistemas de som é a Stage Accompany, da Holanda. Mais conhecida por SA. Trata-se de uma empresa que milita na área de locação de equipamentos, e opera na Europa. Sua força deve-se ao fato dela possuir equipes próprias e muito competentes de engenharia e de desenvolvimento de produtos. A SA desenvolveu seus próprios sistemas digitalmente controlados, utilizados exclusivamente nas atividades de locação.

Em meados da década de 80 a IED substituiu os computadores Sony de 8 bits por IBM compatíveis, associados a equipamentos externos como Controles Automáticos de Ganho, Mixers Automáticos e outros. Esses sistemas já possuíam capacidade de diagnosticar todos os aparelhos eletrônicos utilizados em cada sistema.

No final dos anos 80 a IED introduzia sua segunda geração de controle digital, denominada UDAPs, que incluía os seguintes recursos:

- comutação e roteamento baseado em matriciação digitalmente controlada
- mixagem automática
- controle de níveis ao longo do sistema
- controle de vários taps de delayer digital
- controle de equalização
- controle de crossover
- controle de filtragens
- distribuição de avisos, por exemplo para aplicações em aeroportos e parques temáticos
- comutação de amplificadores modulares

Numa tentativa de buscar um padrão, a IED ofereceu para a consideração da Audio Engineering Society o protocolo que utilizava. O grupo AES SC-10, que é o Comitê de Padronização da Associação, foi então acionado para se pronunciar a respeito de alternativas para o MIDI, que pudessem ser utilizadas em aplicações profissionais.

Depois de algum tempo e muito trabalho um padrão foi apresentado pela associação em outubro de 1.993.

Enquanto o protocolo apresentado pela AES ainda teria que sofrer algumas modificações, as empresas que utilizavam outros protocolos, como a Lone Wolf com seu MidiaLink, tratavam de adaptar seus protocolos para compatibilização com o padrão da AES.

Nesse meio tempo, muitas outras empresas também vinham desenvolvendo seus próprios protocolos, como a Crown, que os usava em seus sistemas IQ2000, inicialmente imaginados para trabalhar com MacIntosh, e desenvolvidos para sistemas de locação. Posteriormente, foi introduzido o software capaz de rodar em IBM compatíveis.

Entre outras empresas que desenvolveram seus próprios sistemas de controle digital estão a Bryston, Crest e a QSC.

Mais recentemente a Crown passou a licenciar empresas para utilizar a tecnologia IQ2000, entre as quais a Rane e a White.

E a Crown também anunciou que está trabalhando para, em futuro próximo, compatibilizar seus produtos com o MidiaLink.

Muitos entendem que a Lone Wolf adotou uma filosofia de trabalho extremamente inteligente. Que estava apoiada na ideia de evoluir com seu produto na direção de algo capaz de apresentar alta performance combinada com preço reduzido.

Isso seria obtido com a proposta de não competir com seus licenciados, e de praticar taxas de licenciamento bastante modestas.

Com essa estratégia inovadora, a empresa conseguiu incluir várias empresas de porte e de respeito em sua lista de licenciados, entre as quais estão Rane, TOA, QSC, JBL, UREI, Carver, Altec, Klark Teknik, além de várias outras.

Mas exatamente o que é o MidiaLink? Em resumo, é um protocolo desenvolvido para substituir com vantagens o MIDI em aplicações profissionais. Desenvolvido com o propósito de não conduzir apenas sinais digitais de controle, mas também sinais de áudio, esta tecnologia

encontra rivais, como o BEC da IED, que usa transmissão por fibras óticas.

Também há alguns outros produtos desenvolvidos para controle digital de áudio, vídeo, iluminação, supervisão de prédios comerciais e automação industrial. Mas sua desvantagem em relação aos anteriores é que eles só conduzem sinais de controle. Um destes é o Echelon, adotado por grandes empresas, como é o caso da AT&T.

Atualmente, os produtos mais cotados são o MidiaLink da Lone Wolf e os sistemas IQ2000 da Crown, ambos convergindo para o padrão da Audio Engineering Society.

Entretanto, há muitos outros que começam a despertar o interesse dos engenheiros de áudio.

Recentemente havia sido informado por um executivo da Allen Heath que a empresa estava trabalhando num sistema de controle digital que daria muito o que falar. Trata-se do DR128, discutido adiante neste livro.

Caro leitor. Gostaria que agora mesmo você pudesse ter uma ideia bem mais clara e profunda do real poder desses sistemas digitalmente controlados. Mas penso que se tentasse fazer isso, estaria invertendo a ordem dos fatores, pois teria que apresentar várias informações fundamentais, ainda não discutidas.

Assim sendo, peço-lhe um pouquinho de paciência.

Vamos trocar ideias sobre todas as coisas que são básicas e necessárias antes de voltar ao caso dos sistemas digitalmente controlados.

O que faremos no capítulo 4.

1.18 O CAMPO DE APLICAÇÃO DOS VÁRIOS SISTEMAS

tabela 1.1

LOCAIS/ATIVIDADES	TIPOS DE SISTEMAS
Academias esportivas e de ginástica, auditórios, teatros e anfiteatros, templos religiosos, praças esportivas, pavilhões de exposições, ginásios e arenas, museus e templos religiosos	Sistemas de reforço acústico de voz
Academias esportivas e de ginástica, shows musicais em ambientes fechados e abertos, casas de espetáculo, espaços reservados para carnaval, casas noturnas, restaurantes, bares e assemelhados, templos religiosos, ginásios e arenas	Sistemas de reforço acústica de música ao vivo
Auditórios, teatros e anfiteatros, autódromos, praças esportivas, ginásios e arenas	Sistemas de reforço de música mecânica
Estúdios em geral, centrais de gravação, gravações log e outros sistemas	Sistemas de gravação
Bancos, hotéis e motéis, centros empresariais, clubes, hospitais, SPAs, clínicas e maternidades, depósitos e grandes áreas de armazenagem, escolas, revendedores autorizados de veículos, aeroportos, usinas em geral, parques temáticos, prédios comerciais e públicos, rodoviárias, indústrias, supermercados, shopping centers e lojas de departamento	Sistemas de alta impedância/voltagem constante
Salas de reunião, salas plenárias, salas de conferência, salas de conselho, salas de assembléias e salas de convenções	Sistema de mixagem automática
Escritórios panorâmicos	Sistemas de mascaramento acústico
Auditórios	Sistemas de tradução simultânea
Auditórios, escolas e salas de aula, templos religiosos	Sistemas de ajuda aos deficientes auditivos
Cinemas e teatros	Sistemas de cinema
Prédios comerciais e indústrias	Sistemas de segurança
Aeronaves, trens e metrô, trólebus elétricos, embarcações em geral, veículos de divulgação e palcos móveis montados em caminhões	Sistemas móveis
Complementos de outros sistemas	Sistemas de transmissão
Indústrias, usinas em geral e pátios de carga e descarga	Sistemas industriais
Quaisquer aplicações	Sistemas especiais
Quaisquer aplicações	Sistemas combinados
Quaisquer tipos de sistemas de áudio	Sistemas digitalmente controlados

Creio que muitos de nossos engenheiros e técnicos de áudio trabalham bastante em função dos sistemas para reforço acústico de música ao vivo.

Afinal, esses são os sistemas que mais fascínio exercem sobre o leigo, já que é uma espécie de elemento de comunicação entre os astros e pessoas famosas e os fãs e as pessoas que de modo geral participam de eventos.

A própria imprensa se encarrega de mostrar detalhes das instalações com bastante antecedência em relação às datas de realização dos eventos, inclusive pela televisão, focando

aspectos como montagens mecânicas, pesos dos equipamentos e outros.

Não discuto se essa é ou não a maior parcela do mercado de áudio no Brasil.

Mas quem não abre os olhos para outros sistemas, provavelmente está deixando de lado uma grande série de oportunidades, representadas por inúmeras aplicações de vários dos demais tipos de sistemas.

Que não são poucos.

Muitos desses sistemas são quase que incógnitos, porque a imprensa especializada entende que eles não despertam grandes interesses. Logo, matérias com eles acabam condenando as revistas a uma quantidade maior de devoluções. Pior do que isso, ao longo do tempo, produzindo uma queda no interesse dos anunciantes.

Provavelmente isso tudo é mesmo verdade.

Outrossim, do ponto de vista de um autor de livro de engenharia de áudio, como eu neste caso, todos esses sistemas devem ser alvo de algumas linhas. O suficiente para que o leitor possa ter uma ideia bem robusta do que é e para que servem esses sistemas.

Isso é o que passo a fazer deste ponto em diante.

Aproveito o ensejo para informar que o último dos sistemas discutidos adiante, está entrando só agora na Bíblia do Som. Trata-se do ASE, acrônimo para Áudio Sobre Ethernet.

Embora as transmissões de dados digitais representando sinais analógicos de áudio já venha sendo utilizada há décadas, inclusive por este autor, neste momento isso é mais do que uma ondinha ou do que uma marola. Ao contrário, esta é uma tendência que se propaga rapidamente, apoiada pelo suprimento de hardware e software por inúmeros fabricantes, que sentiram nesse veio um caminho fértil e que veio para ficar. Uma vez que a Ethernet é o meio de comunicação dos sistemas que se valem de ASE, me vi na contingência de fazer uma espécie de tutorial de redes Ethernet.

Para que se tenha uma melhor ideia disso, e da quantidade de aplicações que podemos pensar para todos os tipos de sistemas, preparei os dados da tabela 1.1, que resume as principais aplicações dos sistemas de sonorização, por tipos.

1.19 FORMAS DE CRIAÇÃO E DE REPRODUÇÃO DOS SONS

A gravação dos sons é hoje uma indústria bastante forte, cujos alicerces estão plantados na enorme demanda para sua posterior reprodução.

Assim, os sons são gravados comercialmente para várias aplicações. E a cada uma delas corresponde uma forma de gravação, e sua correspondente contrapartida na ponta da reprodução.

Olhando dessa perspectiva, os sons podem ser gravados como segue.

1.19.1 Mono

Refere-se a um único canal de áudio, de forma que pode ser reproduzido por um único alto-falante. Sons gravados ou sintetizados podem ser criados ou transformados em sons monofônicos.

A reprodução de sons monofônicos é de dimensão zero, e a imagem sônica é caracterizada por localização unitária.

1.19.2 Estéreo Convencional Embora o termo seja aplicável a dois ou mais canais, o termo estéreo convencional refere-se a apenas dois canais de áudio, reproduzidos por dois alto-falantes. Usualmente o esquerdo e o direito.

A estereofonia convencional aumenta a dimensão zero do som monofônico para uma dimensão, uma vez que os sons podem ser localizados entre os dois canais, ou mesmo localizados no interior de sua cabeça, no caso de uso de fones de ouvido.

Se os dois falantes estão localizados a uma certa distância mínima, então é possível criar um campo de som.

1.19.3 Estéreo Aumentado Esta classe reúne diversas tecnologias para obtenção do efeito, todas convergentes, procurando fazer com que os dois falantes de um sistema estéreo convencional soem “melhor”.

Alguns métodos usam sons monofônicos ou estereofônicos convencionais, fazendo-os passar por circuitos que alteram os níveis de baixas frequências, e introduzem decorrelação de fases entre os materiais inicialmente destinados aos canais esquerdo e direito.

O resultado é um efeito de espacialidade, no qual o som parece estar mais “cheio”. A rigor, todas estas técnicas são efetivamente processos para extrair as informações de direcionamento dos sons.

Como consequência, os ouvintes perdem quase todo o sentido de orientação das fontes de som.

1.19.4 Estéreo Aumentado Avançado Outros métodos empregados para incrementar a capacidade usual da estereofonia convencional utilizam as pistas estéreo convencional para aumentar a imagem existente, localizando-as num campo mais espaçado do que distam visualmente os falantes entre si.

Quando executadas adequadamente, estas técnicas realmente produzem resultados de alta fidelidade, com excelente imagem estereofônica, capazes de oferecer um espaçamento bem mais amplo do que é possível esperar de uma dada distância entre falantes.

Contudo, elas não propiciam informações sobre altura, nem são capazes de levar os sons para trás dos ouvintes, como muitos pensam, e nem mesmo conseguem dar a impressão de que os sons estão mais perto dos ouvintes.

1.19.5 Multicanal A utilização de grupos de falantes, geralmente quatro ou cinco, colocados em torno dos ouvintes pode levar a uma sensação bidimensional, governada pela particular maneira de distribuir dinamicamente os sons pelos falantes considerados.

A distribuição dinâmica pode iniciar de forma sutil, como para a geração do chamado som surround, e alcançar formas radicais.

Quanto maiores forem as distâncias entre os falantes, mais difícil será trazer os sons para a proximidade dos ouvintes.

1.19.6 Áudio Binaural O áudio binaural está baseado numa réplica das mesmas pistas tridimensionais apresentadas a nossos ouvidos, como em casos reais do dia a dia (ver apêndice E).

Essas pistas variam continuamente alterando a relação 3-D entre as fontes de som e a cabeça dos ouvintes. Como estas técnicas envolvem pesado processamento de áudio, o áudio binaural bem sucedido implica na utilização de sofisticadas tecnologias.

Como o estéreo convencional, o áudio binaural consiste apenas de duas pistas de áudio. Entretanto, se no estéreo convencional a ideia é utilizar uma pista para cada falante, no áudio binaural a ideia é muito diferente, sendo aplicado o princípio de utilizar uma pista psicoacusticamente corrigida para cada ouvido.

As gravações binaurais podem ser feitas com o auxílio de uma cabeça acústica, ou seja, a reprodução de uma cabeça humana, na qual os locais dos ouvidos estão equipados com microfones. A técnica que suporta este processo é a chamada HRTF, para Head Related Transfer Function, ou Função de Transferência Relacionada com a Cabeça. Ela está totalmente baseada em fatores subjetivos humanos, e os sons são obtidos por algoritmos que sintetizam a criação dos efeitos.

As técnicas de processamento HRTF em tempo real possibilitam que os sons sejam precisos e interativamente localizados em quaisquer pontos do espaço que envolve um ouvinte.

Até o momento em que estas linhas eram escritas o áudio binaural apresentava melhores resultados quando reproduzido através de fones de ouvido. A razão é simples. É porque as pistas de áudio podem ser precisamente entregues aos ouvidos. Mas também é possível utilizar as técnicas binaurais com os dois falantes de um sistema estéreo convencional.

TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE ÁUDIO					
PROCESSAMENTO	COMPATÍVEL COM TONES?	COMPATÍVEL COM FAI ANTES?	DIMENSÕES	DESEMPENHO QUANTO À PERCEPÇÃO	CONTROLE DO USUÁRIO
MONO	sim	sim	0-D	localização única	não
ESTÉREO	sim	sim	1-D	sons dispostos entre os falantes	balanço esquerdo/direito
ESTÉREO AUMENTADO	não	sim	0-D	sons ultrapassam a distância entre os falantes	não
ESTÉREO AUMENTADO AVANÇADO	sim (apenas se baseado nos principais binormais)	sim	1-D	sons localizados no arco formado pelos falantes, e também, para trás dele	balanço esquerdo/direito
MULTICANAL	não	sim	2-D	sons dispostos em círculo, como formado pelos falantes	esquerdo/centro/direito/frente/trás
BINAURAL	sim	sim	3-D	sons provenientes de quaisquer direções e distâncias do ouvinte	3-D completo, através de coordenadas XYZ

A tabela 1.2 oferece uma visão panorâmica de todas essas técnicas de processamento, envolvendo alguns dos aspectos menos entendidos nos casos reais.

1.20 ASE (ÁUDIO SOBRE ETHERNET) O desenvolvimento da tecnologia, especialmente no vasto e sempre surpreendente campo da tecnologia da informação, se dá de forma gradual, seguindo uma forte tendência secular de aceleração progressiva. Com reflexos correspondentes que podemos respirar em nosso dia a dia. Constatamos esse quadro evolutivo nas passagens mais corriqueiras de nossas vidas, por exemplo quando adquirimos um televisor smart com fácil comunicação com a Internet, ou quando numa loja de departamentos nos deparamos com um simples eletrodoméstico IP, ou quando trocamos um telefone celular que, literalmente, vem abarrotado com centenas de funções, ou quando ficamos diante de automóveis que apenas se parecem com os veículos automotores de três ou quatro anos atrás, já que muitos modelos novos estão sendo transformados em multicomputadores sobre rodas a ponto de precisar ser permanentemente atualizados. Quer um exemplo? O Tesla.

Entretanto, vez por outra sentimos que essa transformação paulatina assume a forma de um degrau que está mais para um salto discreto do que para qualquer avanço gradual. Muitos desses casos acabaram mudando para sempre o panorama das coisas anteriores e até mesmo da história.

Foi o que muitos alunos me relataram em relação ao ÁUDIO SOBRE ETHERNET - AES, também chamado **NETWORKED AUDIO**.

Pessoalmente não compartilho desse sentimento já que há mais de duas décadas venho desenhando sistemas que transmitem digitalmente áudio e sinais controles sobre cabos de rede e cabos óticos, como abordo no item 1.20.6 – Estudo de Casos, adiante.

De qualquer forma, considero o ASE uma verdadeira revolução nos sistemas profissionais de áudio. Eles chegaram e nos fizeram mudar muito a maneira como orientamos nossos clientes em relação aos sistemas de médio e de grande porte. O ASE veio e nos obrigou a repensar a forma de abordar, compreender e desenvolver

novos projetos. Por isso mesmo temos que rever forma e conteúdo do treinamento a ser dado a nossos colaboradores, tanto os da área comercial, quanto os das áreas técnicas, incluindo instalações e manutenção. Finalmente, essa revolução nos compele até mesmo a repensar como devemos nos posicionar no mercado.

Permitam-me relatar uma experiência pela qual passei nos anos 70, quando a telefonia fixa passava por uma transformação que, sem sombra de dúvida, era outro daqueles saltos tecnológicos.

As centrais telefônicas, até então fixas e analógicas, foram rapidamente substituídas por centrais digitais, na ocasião denominadas SPC, acrônimo para Stored Program Controlled.

Entretanto, o pesadíssimo tráfego telefônico entre as novas centrais digitais ainda tinha o velho formato analógico. O que exigia um mar de conversores D/A e A/D complementares, além da obrigatoriedade de se manter cabos tão volumosos quanto caros, lançados em infraestrutura técnica especialíssima e pressurizada, ipso facto, de custos sempre astronômicos. Sem falar no esforço 24/7/365 e custos de manutenção permanente de todo esse aparato.

Tudo isso soava como um verdadeiro contra senso diante da possibilidade de cursar todo o tráfego telefônico não mais em formato analógico, mas em formato digital, sobre cabos óticos. Tudo de maneira descomplicada e, em comparação com a versão analógica, a custos muitas vezes inferiores. Para que se tenha uma boa ideia, na época, um único cabo ótico podia comportar simultaneamente todo o tráfego telefônico do Brasil.

O obstáculo que impedia dar o próximo passo é que a tecnologia da fibra ótica ainda não havia alcançado o patamar necessário para viabilizar essa intenção de modo tecnicamente seguro e economicamente factível. Mas era uma promessa anunciada. Por sinal, foi isso o que ouvi na ocasião, para citar apenas um exemplo, de meu grande amigo Eduardo Dantas, velho companheiro de audiofilia, professor de TV digital no Mackenzie e um dos maiores especialistas em fibras óticas que o Brasil já produziu. Que Deus o tenha, amigo.

Uma vez identificado o problema, todos os esforços acabaram sendo concentrados no aperfeiçoamento dos sistemas de fibras óticas. Muito pouco tempo depois as centrais digitais já se comunicavam digitalmente. Um marco histórico que, por sinal, foi a preparação fundamental para a telefonia móvel como você a conhece hoje.

Dizem que as coisas da natureza se repetem em ciclos e em momentos diferentes.

Coincidência ou não, algo bastante semelhante ocorreu com os sistemas profissionais de áudio um tempo depois. Porque os aparelhos de áudio pouco a pouco foram se tornando digitais. Inicialmente, processadores. Depois mixers. Mais tarde outros.

Como no caso da telefonia, as correspondentes interligações continuavam sendo feitas em formato analógico. Exigindo conversores D/A e A/D. Claro, os massivos cabos de cobre continuavam sendo utilizados e instalados. Tudo com a habitual relativa baixa imunidade contra IEM (Interferência Eletromagnética), com os habituais problemas de distâncias físicas de lances mais longos e a necessidade indefectível de uma infraestrutura técnica dedicada e muito bem projetada, invariavelmente muito cara. Por vezes de execução impossível em edificações já existentes.

Ficava cada vez mais claro para todos que estávamos no limiar de uma nova era do áudio profissional. De um lado era evidente que a digitalização das conexões do áudio profissional era questão de tempo. Muito pouco tempo. De outro lado, muitos sinais já eram transportados por cabos de rede Ethernet.

Eureka!! Aí estava a chave da solução.

Transportar sinais de sistemas profissionais de áudio usando redes Ethernet existentes.

Creio que do ponto de vista técnico era algo que sequer se podia classificar como um desafio. Afinal, as lições deixadas pelas telecomunicações ainda ecoavam no ar.

Do ponto de vista mercadológico essa era uma atividade com futuro extraordinariamente promissor. Uma convergência da opinião abalizada da indústria do áudio profissional, de muitos especialistas e dos organismos de padronização.

Todos enxergavam no ASE um grande assomo de vantagens dos sistemas profissionais sobre os sistemas convencionais. Veja só algumas dessas vantagens.

1.20.1 Vantagens 1.20.1.1 Redução Dramática de Custos Os sistemas convencionais só funcionam depois de instaladas grandes quantidades de cabos elétricos. Como vimos, todos altamente especializados e caros, os quais devem ser lançados nos eletrodutos das redes infraestruturais. Estas, construídas com tubos metálicos devidamente aterrados, sendo fundamental que haja vias independentes para cada tipo de sinal analógico, como microfone, linha, alto-falantes, controle, CC para relés, corrente alternada de alimentação, *etc.* Tudo remetendo a custos muito elevados em materiais e em mão de obra especializada.

A alternativa digital para esse panorama analógico era o uso de cabos de rede e seus conectores. Ambos extraordinariamente baratos. Também fica implícito que seria possível usar todo o hardware convencional e bem padronizado das redes Ethernet. Como switches e conversores.

Graças ao avantajado porte do mercado da informática, tudo está devidamente padronizado. Como consequência, todos os artigos são facilmente disponíveis nas prateleiras das muitas lojas especializadas, usualmente a custos bem acessíveis. Nem por isso deixando de lado a imperiosa necessidade de uma alta confiabilidade.

Uma das grandes vantagens dessa ideia é que praticamente toda e qualquer organização, independentemente de porte e localização, possui uma rede Ethernet que pode ser utilizada ou expandida com facilidade.

Resultado? A dramática e esperada redução de custos dos sistemas ASE em relação aos sistemas convencionais.

1.20.1.2 Aumento Significativo de Qualidade Transmitir áudio em formato digital ajuda a assegurar elevadas imunidades contra campos eletromagnéticos interferentes com menos degradação dos sinais impostas por IEM e por anomalias típicas do sistema de energia comercial.

Do mesmo modo, a transmissão digital dos sinais de áudio é caracterizada por figuras reduzidas de diafonia, por menos coloração dos sinais por efeito de perdas elétricas seletivas como ocorre com os sinais analógicos, além de baixas perdas localizadas que ocorrem por

imposição das características elétricas dos cabos. Especialmente sua impedância elétrica.

1.20.1.3 Flexibilidade Muito Superior Um bom projeto de rede Ethernet é capaz de assegurar extraordinária flexibilidade diante de futuras necessidades não previstas ou desnecessárias pela ocasião da implementação da rede. Esse benefício é integralmente transferido para os sistemas ASE, que dele se valem para operar de modo muito mais flexível do que os sistemas convencionais.

Um belo exemplo disso é a possibilidade de alterar o roteamento de sinais apenas por meio de reconfigurações simples e imediatas da rede, via comandos simples, contra a necessidade inexorável de recabeamentos físicos, como ocorre com os sistemas convencionais. Com todas as consequências da mão de obra aplicada, tempo dispendido com os procedimentos e custos adicionais correspondentes.

1.20.1.4 Instalações Mais Racionais e Muito Mais Rápidas Nos sistemas convencionais, uma parte significativa e ponderável dos serviços de instalação em campo refere-se diretamente à manipulação física de cabos em campo, geralmente em condições muito desfavoráveis, ao lançamento desses cabos pela infraestrutura existente, sua conferência, identificações e rotulagens, conectorizações avulsas e em painéis, organização física e testes funcionais de cada conectorização efetuada e das vias de comunicação como um todo.

Já nos sistemas ASE todo esse esforço deixa de existir, uma vez que as redes Ethernet são implementadas de modo diferente. Na sequência, as certificações muito rápidas asseguram que os cabos já conectorizados atendem aos padrões de perda nas diversas frequências de operação.

Isso faz dos serviços de instalação dos sistemas ASE uma atividade voltada para os equipamentos, sem muita preocupação com interligações entre componentes, salvo exceções. Portanto, algo muito mais racional e rápido.

Permitindo o comissionamento dos sistemas ASE em prazos substancialmente mais reduzidos do que é possível com os sistemas convencionais.

1.20.1.5 Incremento Insólito de Confiabilidade Pessoalmente considero a confiabilidade o requisito mais importante de qualquer sistema profissional de áudio, seja ele ASE ou convencional.

Ocorre que confiabilidade também é o principal objetivo de organismos de padronização e de fabricantes de hardware voltado para as redes Ethernet.

O mercado como um todo sempre exigiu isso desde o início, já que problemas em redes,

mesmo que de muito curta duração, são suficientes para impor prejuízos de proporções dantescas para as empresas, sem falar dos prejuízos intangíveis.

Veremos adiante que, além dessa característica nata, os recursos de confiabilidade das redes Ethernet é ainda reforçada com valiosos procedimentos adicionais previstos, especialmente os que estão relacionados com a escolha da topologia e com a implementação de graus variáveis de redundância.

1.20.1.6 Operação Simplificada Um sistema ASE pode ser operado exatamente como um sistema convencional. Mas, além disso, a operação pode também pode ser feita remotamente.

Por exemplo, do meio da plateia.

Claro que os sistemas convencionais também oferecem esse recurso.

Mas às custas de muito cabeamento adicional, de alterações de conectorização e da necessidade de chaveamentos e, geralmente, de mudança física ou da instalação de um segundo mixer no local desejado.

Contra absolutamente nenhum procedimento adicional além de se ligar um notebook ou iPad no local desejado, usualmente uma simples conexão wireless, no caso dos sistemas ASE.

Claro que a operação remota também pode ser feita em qualquer cidade do país ou fora dele. Basta usar a Internet.

Fora isso, nos sistemas ASE toda a operação passa a ser assistida por cenários pré programados, que eliminam totalmente a necessidade de ajustes de implementação de modo sempre muito difícil, demorado e desgastante, típico dos sistemas analógicos convencionais.

1.20.1.7 Manutenção Mais Racional e Direta Como ocorre com nossos computadores pessoais, praticamente todos os equipamentos digitais estão equipados com rotinas de auto diagnose. O que significa que eventuais problemas, quer os de hardware quer os de software, são reportados assim que identificados. Benefício esse que é integralmente repassado para os sistemas ASE.

Coisa semelhante ocorre com as redes Ethernet, que são capazes de reportar problemas em tempo real.

Isso por si só já seria um enorme benefício para os sistemas ASE.

Outrossim, nestes também são previstos outros procedimentos como rotina de manutenção, a exemplo da monitoração constante e permanente das características operacionais e dos atributos do suprimento energético para o sistema.

Que, por sinal, pode ser coadjuvado por sistemas nobreak como geradores organizados com arquitetura “hot standby”.

Tudo isso ajuda a simplificar muito a manutenção dos sistemas ASE que, inclusive, também pode ser feita remotamente.

Vou dar um exemplo disso para que se tenha noção de como esse recurso pode ajudar.

Há cerca de duas décadas instalamos um sistema de mixagem automática na sala principal da diretoria executiva do Banco Bradesco em Osasco, São Paulo.

A foto da figura 1.1 mostra um aspecto dessa instalação.

Para dar suporte ao sistema foram instalados vários mixers automáticos Lectrosonics, modelo AM8 interligados entre si.

Fora isso foram instaladas matrizes digitais MM8 com 12 entradas e 8 saídas cada uma. O objetivo era dotar o sistema do recurso “mixing minus”.

Também foram instalados vários amplificadores Lectrosonics, modelo PA8, de oito canais de áudio cada um.

Claro que todo esse sistema foi configurado em termos de opções, de níveis, de estabelecimento de parâmetros operacionais de cada canal de mixagem, dos recursos aplicáveis a cada um desses canais e de recursos de sistema, como a quantidade de microfones simultaneamente abertos, a aplicação seletiva de “override”, da configuração dos crosspoints das matrizes digitais e tantos outros.

Pois bem, vez por outra o cliente nos ligava informando que por várias razões, principalmente em função de ajustes manuais procedidos nos componentes, o sistema havia perdido algumas de suas funções essenciais.

Diante disso o que precisávamos fazer era “entrar” no sistema usando a Internet e a Ethernet do cliente para, então, substituir toda a pesada configuração do sistema pela configuração “default” original, através de um simples upload, sempre muito rápido.

Assim, minutos depois de termos recebido a ligação do cliente o sistema já havia sido integralmente recomposto.

Sem necessidade de qualquer visita técnica e com custos reduzidíssimos. Tudo a favor do cliente, é claro.

1.20.1.8 Aspectos Funcionais e Operacionais Enquanto se pensava em como implementar os sistemas ASE já era evidente que, de forma distinta dos sistemas convencionais, muitos aspectos funcionais e operacionais poderiam ser facilmente implementados.

Entre esses os seguintes podem ser citados:

- verificação do status e desempenho de processadores remotos
- verificação do status e desempenho de amplificadores remotos
- verificação do status e desempenho de alto-falantes remotos
- diagnósticos rotineiros de equipamentos remotos e do tráfego de informações nas redes Ethernet
- monitoração das voltagens CA de suprimento dos sistemas, em cada local de fornecimento
- monitoração de eventuais anomalias no suprimento de energia elétrica dos sistemas e correspondentes níveis de qualidade de suprimento, em cada local de fornecimento
- ajustes remotos de atenuação de sinais de áudio entregues a processadores e amplificadores remotos, ou quaisquer outros equipamentos remotamente instalados
- ajustes remotos de parâmetros de DSPs, a exemplo de níveis de threshold de noise gates, compressores e limitadores, ou de variações de Q e de mudança de frequência central de equalização paramétrica.
- envio de sinais digitais de áudio e de informações de controle e outras, pela mesma via da rede Ethernet, o que elimina a necessidade de cabos adicionais GPI, RS232, RS 422, RS 485 ou quaisquer outros.
- atualização do firmware de qualquer equipamento remoto do sistema, sem qualquer esforço ou necessidade de deslocamento físico
- ajuste de níveis operacionais de áudio função de alterações de nível de ruído ambiente
- monitoração e controles exercidos via Internet a quaisquer tempos

Tudo isso constituiu um pano de fundo que fazia o desafio valer à pena, impulsionando cientistas, pesquisadores, centros de estudos, organismos de padronização e, principalmente, fabricantes, a combinar esforços no sentido de produzir toda a tecnologia necessária para a implementação prática dos sistemas ASE.

1.20.2 Noções de Rede Penso que o leitor que prossegue com este assunto sem ter uma boa noção de rede Ethernet é caminhar numa zona de desconforto. Razão pela qual optei por introduzir, agora mesmo, um pequeno texto orientado para oferecer noções superficiais das redes, mas de modo bastante orientado para o que é preciso saber quando discutimos ASE.

Antes mesmo de passar para o próximo tópico quero informar que ao final deste Capítulo incluí um glossário específico contendo apenas termos relacionados com as redes Ethernet.

1.20.2.1 Termos Básicos **rede** Termo genérico que se aplica a um grupo de componentes, computadores ou equipamentos que compartilham dados através de caminhos para tanto estabelecidos **LAN**

Acrônimo para Local Area Network, este termo é usado para identificar uma dada rede instalada nos limites de uma área específica, a exemplo de uma arena esportiva.

Ethernet O termo Ethernet refere-se a um padrão popular de comunicação digital usado numa rede ou LAN. O padrão é o 802.3, elaborado e publicado pelo organismo de

padronização IEEE.

1.20.2.2 Breve Apanhado Histórico No início dos anos 70 o PARC – Palo Alto Research Center da Califórnia desenvolveu os princípios fundamentais sobre os quais era possível construir as primeiras redes capazes de integrar computadores em locais remotos.

As primeiras redes ALOHAnet e ARPANET estabeleceram, de modo bastante prático, o norte técnico e os fundamentos basilares da Internet, como a conhecemos e usamos hoje. A ALOHAnet era uma rede de rádios interligando várias ilhas do complexo havaiano.

Bob MetCalfe, antes colaborador do PARC, decidiu empreender carreira solo e, para tanto, fundou sua própria empresa, a 3COM. E com ela obteve êxito ao implementar de forma brilhante uma rede totalmente funcional e muito prática para uso corporativo. Assim nascia a Ethernet.

Pasme você, mas os computadores mais modernos ainda utilizam esses mesmos princípios, já que todos eles são fornecidos com portas Ethernet. Esse é o protocolo padrão por trás do ASE, o conhecido 802.3 da organização de padronização o IEEE – Institute of Electrical and Eletronic Engineers.

Ao longo do tempo, e como era de se esperar, a velocidade das redes Ethernet, ou a capacidade de transportar de bits foi algo que evoluiu com os anos.

A ARPANET operava com um modem (modulador/demodulador) do tamanho de uma geladeira, e tinha velocidade de 50Kbps. Antes disso, eram usados modems do sistema Bell de apenas 300 bits por segundo!

A relação abaixo dá uma ideia dessa evolução.

1986 - 10base5 com uso de cabo coaxial muito espesso (diâmetro 9,5mm) 1986 – 10base2 com uso de cabo coaxial fino 1991 – 10baseT, usando par torcido de cabos*

1994 – 10baseF, implementado com fibra ótica 1995 – 100baseT4 ou Fast Ethernet, usando cabos UTP categoria 3

100baseTX ou Fast Ethernet, usando cabos UTP categoria 5

100baseFX ou Fast Ethernet, usando dois cabos de fibras óticas 1998 – 1000baseCX, ou Gigabit Ethernet, com cabos STP para até 25 metros 1000baseSX, fibra ótica multimodo, para até 550 metros 1000baseLX, fibra ótica monomodo, para até 5 quilômetros 1000baseLX10, fibra ótica monomodo ($\lambda=1,31\text{nm}$), para até 10 quilômetros 1000baseEX, fibra ótica monomodo ($\lambda=1,31\text{nm}$), para até 40 quilômetros 1000baseZX, fibra ótica monomodo ($\lambda=1,49\text{nm}/1,31$), para até 70 quilômetros 2006 – 1000baseT, cabo UTP cat5, 5e, 6 e 7, para até 100 metros 1000baseTX, cabo UTP cat 6 e 7, para até 100 metros 2007 – 10 Gigabits Ethernet (10GbE), cabos UTP ou fibra 2014 – 40

Gigabits Ethernet (40GbE), cabos UTP ou fibra 2014 – 100 Gigabits Ethernet (100GbE), cabos UTP ou fibra * a ideia era possibilitar o uso de cabos telefônicos convencionais, não blindados A Ethernet 40 Gigabits foi um ponto intermediário entre 10GbE e 100GbE, divisada pelo IEEE, para ganhar algum tempo e poder superar problemas com a 100GbE, ainda só viável quando as distâncias físicas envolvidas são muito limitadas.

Isso pode parecer um grande problema, mas não considero dessa maneira quando lembro que em três décadas a velocidade da Ethernet aumentou numa magnitude de 4 dígitos. Cara, é coisa prá caramba!

É verdade que na última década ocorreu uma certa queda no ritmo de progresso da tecnologia de Ethernet. Em parte isso se deve à Ethernet wireless (Wi-Fi) que, por ser uma nova promessa, tem captado muito interesse e esforços. A Ethernet com fio e a sem fio são totalmente compatíveis e, por isso mesmo, complementares.

Por vezes me pergunto quando teremos a Ethernet de 1 terabit. Antes de responder me vejo considerando que a Ethernet 100GbE ainda não está totalmente resolvida. Mesmo com fibras óticas, essa velocidade ainda é um autêntico desafio em nossos dias. Mas quando minha mente regride algumas décadas, me lembro que, então, ninguém sequer sonhava com Ethernet capaz de cursar tráfego a velocidade de 10Gb.

Os projetistas de CPU resolveram problema similar usando múltiplos núcleos trabalhando em paralelo. A Ethernet Gigabit também usa a transferência de informações com paralelismo, para tanto se valendo dos quatro pares dos cabos UTP. Muitas variantes da Ethernet 40Gbps e 100Gbps também usam fluxo de dados enviados em paralelo através das fibras óticas, cada fluxo com comprimento de onda de luz ligeiramente diferente dos demais.

A tecnologia existente é muito rica em exemplos de desenvolvimento. Cabos subaquáticos também se valem de bandas agregadas multiTerabits num único cabo de fibra ótica, valendo-se de multiplexação digital no tempo, formato DWDM, acrônimo para Dense Wavelength Division Multiplexing. Quem sabe esse não é um caminho para a Ethernet? Vimos que não seria a primeira vez que tecnologia desenvolvida para as telecomunicações inspira os cientistas das redes corporativas e os organismos de padronização. Há ainda outra tecnologia denominada TRILL, para Transparent Interconnection of Lots of Links, que promete possibilitar a construção de redes flexíveis, de altíssima velocidade, deixando de lado a ideia de usar um único link para usar muitos deles. Outra técnica que se apoia na ideia de transmitir informações em paralelo.

Portanto, esse me parece ser o futuro da Ethernet.

1.20.2.3 Filosofia de Operação Creio que é uma boa ideia abordar a filosofia de operação das redes Ethernet através de uma discussão descompromissada do que são hubs, switches e

roteadores.

hubs

O hub serve para interligar os diversos componentes de uma rede Ethernet. Esse dispositivo recebe dados de um dos componentes da rede e os encaminha simultaneamente para todos os demais componentes interligados. Enquanto essas informações circulam pela rede nenhum componente consegue enviar sua própria comunicação.



figura 1.8 típico hub de rede Ethernet acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O hub como o da figura 1.8, de 16 portas e desenhado para redes 10baseT, e quaisquer outros hubs, não são imunes a colisões.

Esse é um fenômeno que pode ocorrer sempre que dois ou mais componentes de uma rede Ethernet iniciam simultaneamente a transmitir dados. O resultado da colisão é a destruição dos dados encaminhados. O que passa a ser do conhecimento dos componentes que tentaram enviar informações, uma vez que eles não recebem confirmação dos destinatários do recebimento íntegro dos dados enviados.

Em razão dessa deficiência, os hubs praticamente não são mais utilizados nas redes modernas.

switch

Os switches foram projetados para superar os problemas das colisões. Com eles nas redes os componentes já podem enviar dados simultaneamente, sem quaisquer problemas.

Um dos principais protocolos utilizados pelas redes Ethernet equipadas com switches é o CSMA/CD, acrônimo para Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection. Traduzindo: Sensor de Vias de Múltiplo Acesso com Detecção de Colisões.

Vejamos isso aos poucos começando com o Sensor de Vias. Quando um determinado componente de uma rede Ethernet pretende enviar informações, ele inicialmente verifica se há uma via disponível através da qual possa enviar dados. O Múltiplo Acesso significa que os componentes da rede estão livres para receber informações desde que não estejam ocupados recebendo informações de outros componentes. Deixe-me ilustrar isso de outro modo.

Imagine uma rede com 16 componentes interligados por um switch de 16 portas como na figura 1.9.

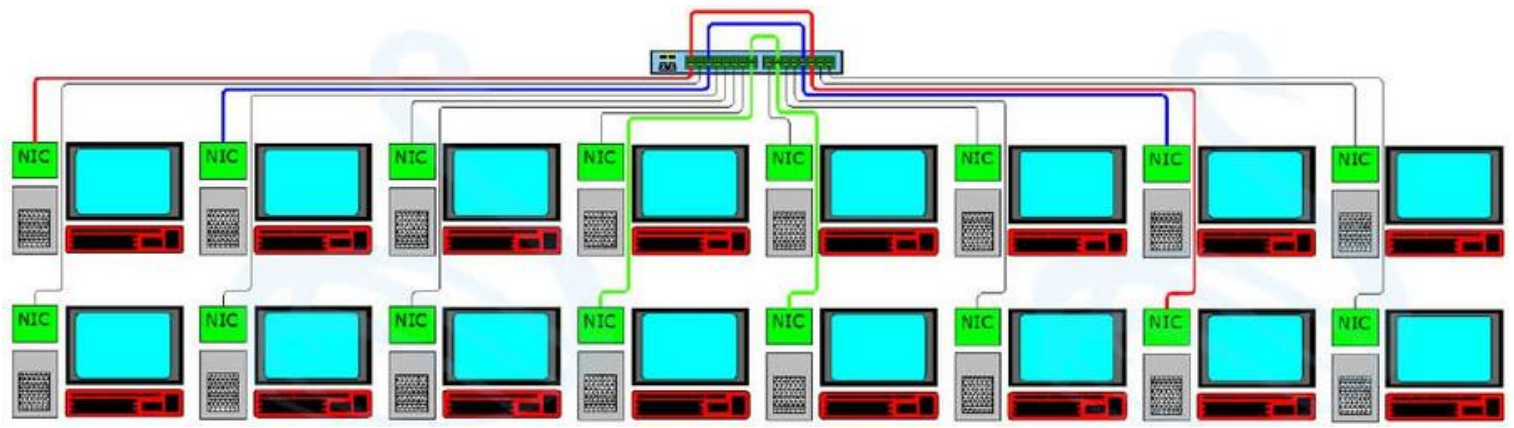


figura 1.9 rede Ethernet com 16 componentes interligados por switch de 16 portas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja que no caso desse exemplo há três pares de computadores se comunicando simultaneamente. As vias de comunicação foram assinaladas com as cores vermelha, marinho e verde limão.

Quando qualquer componente de uma rede Ethernet quer enviar informações, esse conjunto de dados é dividido em partes menores, denominadas pacotes. Esses pacotes de dados então transmitidos para o destinatário, que os reconhece e informa ao remetente que recebeu o pacote por inteiro e de maneira íntegra.

Cada pacote enviado pelo remetente para o destinatário se faz acompanhar do endereço único daquele destinatário. Esse endereço é programado em cada cartão NIC, na forma de endereço único e próprio.

Todo e qualquer switch mantém uma lista atualizada de todos os endereços de todos os componentes que estão ligados na rede. Desse modo, eles sabem exatamente para onde enviar cada pacote de informação.

Já que cada pacote contém o endereço do destinatário, é óbvio que exceto pelo destinatário, quaisquer outros componentes da rede não reconhecem aqueles pacotes. Ao que vale dizer que nas redes Ethernet as informações têm, literalmente falando, endereço certo.

Assim que as informações são recebidas pelo destinatário, este encaminha mensagem ao remetente para informar que a mensagem foi recebida e de forma íntegra.

Os endereços dos cartões NIC são do tipo Media Access Control (MAC), os quais são programados pelo fabricante. Numa palestra que fiz há meses me perguntaram como é possível não ter duplicações de endereços MAC. A resposta é que existem mais de 280 trilhões desses endereços. Por outro lado, apenas o IEEE pode alocar esses endereços para uso dos fabricantes. O que garante a impossibilidade prática de duplicações. Como disse alguém, esse sistema sempre funciona bem.

Além do endereço MAC há uma outra “camada” que comporta um endereço adicional definido pelo usuário. O que facilita ainda mais a gerência da rede. Talvez você conheça de nome esse endereço adicional. Ele é o “Internet Protocol Address”. Conhecido também pela simplificação IP. Esse endereço tem sempre quatro bytes chamados “subnet mask”. Um dos macetes aqui é que apenas os cartões NIC com o mesmo número de “network” podem trocar

informações entre si.

Do ponto de vista de tráfego pela rede, a comunicação pode ser unicast, multicast ou broadcast.

unicast

O pacote se faz acompanhar de um único endereço de destinatário. Portanto, esta é uma comunicação ponto a ponto. Esta é forma de comunicação predominante em redes Ethernet e também na Internet.

multicast

Na comunicação multicast o pacote se faz acompanhar dos endereços de um grupo definido de destinatários. Neste caso, para receber o pacote todos os componentes destinatários devem fazer parte de uma mesma VLAN.

Um exemplo de multicast é a atividade de videoconferência envolvendo três ou mais localidades.

broadcast

No modo broadcast o pacote é enviado com os endereços de todos os componentes da rede. Este modo de comunicação é muito útil para envio de mensagens gerais de interesse de todos os componentes da rede.

Há basicamente dois tipos de switches: os não gerenciáveis e os gerenciáveis. Os primeiros não são projetados para necessitar qualquer forma de configuração. Assim, ninguém precisa se preocupar com ajustes. Basta ligá-los na rede que eles já funcionarão. Contudo, às expensas de recursos que os switches gerenciáveis possuem. Os switches não gerenciáveis são adequados para uso residencial. Já os gerenciáveis requerem configuração. Em contrapartida, oferecem flexibilidade ímpar e capacidade que fica longe do que oferecem os equipamentos não gerenciáveis.

Portanto, em condições normais de pressão e temperatura o usuário precisa programar manualmente o endereço IP dos cartões NIC para que eles fiquem ativos na rede. Em outros casos um computador ligado na rede, ou um switch ou um roteador, podem ser programados para efetuar essa tarefa automaticamente. Nesse caso eles usam um recurso de software, que é o DHCP, acrônimo para Dynamic Host Configuration Protocol.

roteadores

Os hubs e os switches são projetados para permitir a formação de redes Ethernet, possibilitando a transmissão de informações entre os componentes interligados. Já os roteadores, aliás como o nome sugere, são dispositivos desenhados para “rotear” pacotes para outras redes, assegurando que cada pacote chegue a seu destino.

Portanto, um roteador serve para interligar duas ou mais redes. Que podem ser LANs, WANs (Wide Area Network) ou Internet em quaisquer combinações desejadas.

Os roteadores ficam localizados nos “gateways”, que são os pontos nos quais as diferentes redes se interligam. Eles usam protocolos como o ICMP, acrônimo para Internet Control Message Protocol. Por sinal, um dos principais protocolos do grupo de protocolos empregados na Internet.

Dessa maneira os roteadores se comunicam entre si para configurar a melhor rota entre dois componentes das redes. Para fazer esse serviço eles usam tabelas com endereços e são capazes de escolher, a cada momento, o melhor caminho entre dois componentes que precisam se comunicar.

Embora os roteadores sejam externamente muito semelhantes aos switches, são bem mais inteligentes do que eles. Em seu interior, os roteadores possuem muito mais funções lógicas para desempenhar trabalhos de mais profundidade do que fazem os switches. Costumo dizer que os roteadores são computadores muito especializados. Alguns modelos mais avançados possuem recurso de reconfiguração de sistemas operacionais, podendo trabalhar, por exemplo, com Linux ao invés de apenas dispor de firmware diretamente codificado no hardware.

layers (camadas)

OSI		
LAYER	UNIDADE DE DADOS	FUNÇÃO
7 - APLICAÇÃO	DADOS	API DE ALTO NÍVEL COM COMPARTILHAMENTO, ACESSO REMOTO A DADOS, SERVIÇOS DE PASTAS E DE TERMINAIS VIRTUAIS
6 - APRESENTAÇÃO		TRANSLAÇÃO DE DADOS ENTRE SERVIÇOS DE REDE E APLICAÇÕES INCLUINDO CODIFICAÇÃO DE CARACTERES, COMPRESSÃO DE DADOS E ENCRIPAÇÕES E DESENCRIPTAÇÕES
5 - SEÇÃO		GERÊNCIA DE SEÇÕES DE COMUNICAÇÃO COM TROCA PERMANENTE DE INFORMAÇÕES NA FORMA DE ENVIOS SEGUIDOS PARA A FRENTE E PARA TRÁS ENTRE PONTOS DA REDE
4 - TRANSPORTE	SEGMENTOS	TRANSMISSÃO DE QUADROS DE DADOS ENTRE DOIS PONTOS INCLUINDO SEGMENTAÇÃO, CONFIRMAÇÕES E MULTIPLEXÃO
3 - REDE	PACOTES	ESTRUTURAÇÃO E GERÊNCIA DE REDES MULTI PONTOS INCLUINDO ENDEREÇAMENTO, ROTEAMENTO E CONTROLE DE TRÁFEGO
2 - LINQUE DE DADOS	BITS/QUADROS	TRANSMISSÃO DE QUADROS DE DADOS ENTRE DOIS PONTOS LIGADOS POR MEIO FÍSICO
1 - FÍSICO	BITS	FLUXO DE BITS SOBRE UM MEIO FÍSICO

figura 1.10 layers previstos na recomendação X.200

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O modelo OSI, acrônimo para Open System Interconnection, é um conceito que se aplica integralmente ao modo como as comunicações se processam nas redes Ethernet. É um padrão válido para as funções internas de hubs, switches e roteadores. A essência do conceito é a divisão do todo em camadas. Ao todo foram previstas 7 camadas numeradas de 1 até 7,

sendo a de número 1 a de nível hierárquico mais baixo. O que nos interessa neste momento são as primeiras três camadas (1, 2 e 3) associadas aos hubs, aos switches e aos roteadores.

O quadro da figura 1.10 mostra os layers previstos na recomendação X.200.

Há um conceito aplicável aos hubs, switches e roteadores – o dos layers – que gostaria de discutir neste ponto.

layer 1

O layer 1 também é chamado de layer físico. Em essência ele é formado pelo cabeamento, pelos conectores, *etc.* Podemos pensar no layer 1 como pensamos num interruptor de luz. É uma chave que liga ou desliga, permitindo ou não que se estabeleça a conexão elétrica entre dois pontos.

layer 2

Os switches se valem do layer 2 para estabelecer as vias das conexões elétricas com base nos endereços MAC de Ethernet, como vimos acima.

layer 3

Tecnicamente falando, é no layer 3 que há a compreensão e a realização do roteamento com base nos endereços IP.

1.20.2.4 Blocos Construtivos Elementares Os blocos construtivos elementares das redes Ethernet são: NICs (cartões de interface), cabos e switches. A figura 1.11 mostra um switch na parte superior, NICs nos retângulos verdes na parte inferior e as correspondentes interligações feitas com cabos.

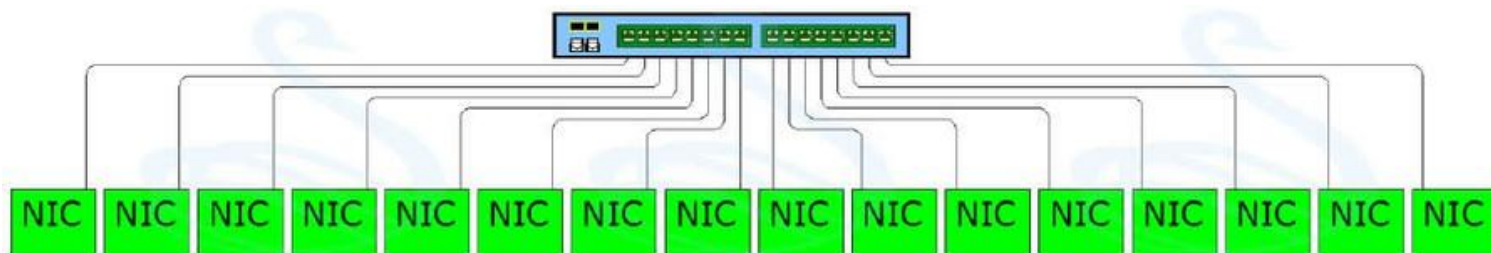


figura 1.11 os blocos construtivos elementares das redes Ethernet acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vejamos cada item desses com um pouquinho mais de detalhes.

NIC

Acrônimo para Network Interface Controller, o NIC contém todo o hardware necessário para que um computador possa ser ligado numa rede Ethernet. Claro que é perfeitamente possível ligar na rede qualquer outro equipamento eletrônico no lugar do computador.

Tecnicamente o NIC é um adaptador. Seu fator de forma pode variar de uma placa PCMCIA para um computador, ou ser um dispositivo já fornecido “onboard” pelo fabricante do computador. No caso dos equipamentos de áudio projetados para trabalhar em Ethernet, há usualmente um “slot” onde pode ser inserido o NIC.

Alguns NICs são projetados para trabalhar com cabos. Outros são próprios para uso com meios Wi-Fi. Estes são equipados com transceptores de rádio. Também há NICs próprios para trabalhar com fibras óticas.

cabos

Os cabos de rede serão explorados no capítulo 4, dedicado especificamente aos equipamentos e acessórios usados nos sistemas de áudio.

Sua função é interligar os NICs e os switches, possibilitando a construção da rede como projetado.

switches

Vimos linhas acima que os switches são dispositivos empregados numa rede Ethernet de sorte a possibilitar que sejam feitas as ligações físicas entre os demais componentes da rede.

Para tanto, o que é preciso é ligar cada componente numa porta do switch de modo a criar um canal de comunicação entre todos os dispositivos interligados.

1.20.2.5 VLAN e Wireless LAN (WLAN) VLAN

Começo com a definição de “domínio de broadcast”. Trata-se de um segmento lógico de rede Ethernet no qual os componentes do segmento podem se comunicar com os outros componentes do mesmo segmento sem necessidade de se valer de um switch.

A função do domínio de broadcast nas redes tem a ver com o tamanho de redes Ethernet muito grandes, cuja segurança passa a preocupar tão mais quanto maior é a rede, com o desempenho e com o próprio gerenciamento, que também se torna mais complexo à medida em que a rede é maior.

Assim, uma rede Ethernet muito grande pode ser separada em dois ou mais domínios de broadcast, mesmo que todos os componentes da rede tenham conexão com um só switch.

Desse modo, os componentes pertencentes a um mesmo domínio de broadcast só podem se comunicar com os componentes do mesmo domínio. Com o que é possível separar o tráfego de acordo com interesses específicos.

Esse raciocínio se aplica a redes com um único switch ou com vários switches.

Tudo o que é preciso fazer é configurar as portas dos switches para que os componentes lá ligados sejam identificados como componentes de um determinado domínio de broadcast, ou não. Também é possível configurar uma porta de switch gerenciável de sorte que o componente nela ligado seja entendido como componente de dois ou mais domínios de broadcast.

Pois bem, outro nome que se dá aos domínios de broadcast é VLAN, para virtual LAN.

Portanto, podemos definir uma VLAN, ou Virtual LAN, como um agrupamento lógico virtual de componentes de uma rede Ethernet real, menor do que a soma de componentes da

rede real propriamente dita.

A VLAN possibilita que os componentes assim agrupados se comuniquem como se estivessem fisicamente ligados na mesma rede.

WLAN

WLAN é acrônimo para Wireless Local Area Network.

Trata-se de uma rede Ethernet na qual os cabos são substituídos por comunicação por rádio.

Esta ideia está muito longe de ser uma novidade. Afinal, como mencionei antes neste capítulo, a ALOHAnet de 1971, concebida pelo professor Norman Abramson da Universidade do Havaí, foi implementada interligando computadores com linques de rádio. Esses computadores estavam fisicamente espalhados pelas ilhas do arquipélago.

O rádio empregado nas WLAN é do tipo OFDM, acrônimo para Orthogonal Frequency Division Multiplexing, que é uma forma de codificar dados digitais num grupo de frequências portadoras de banda relativamente larga. Por vezes o método OSSR, abreviatura de Often Spread-Spectrum Radio também é alternativamente empregada.

Todo e qualquer componente de uma rede WLAN é denominado “estação”. Todas as estações devem estar equipadas com WNICs, que são os Wireless Network Interface Controllers.

De modo geral há dois tipos diferentes de estações: os clientes e os Pontos de Acesso (Access Point). Estes últimos geralmente são fornecidos como roteadores sem fio e eles são efetivamente as estações base.

Assim, os Pontos de Acesso transmitem e recebem radiofrequências para clientes sem fio a fim de estabelecer a comunicação.

Chama-se “basic service set”, ou abreviadamente BSS, o grupo de todas as estações da WLAN que podem se comunicar entre si. Toda BSS possui uma identificação própria (ID), também denominada BSSID. Trata-se do endereço MAC do ponto de acesso da WLAN.

O protocolo IEEE 802.11 prevê dois tipos de modos de operação das WLAN: **ad hoc** e **infrastructure**. No modo ad hoc os clientes móveis transmitem na base do peer-to-peer, que é uma comunicação com uma só origem e um só receptor. No modo infrastructure os clientes móveis se comunicam através de um ponto de acesso que funciona como ponte para outras redes, como uma LAN ou mesmo a Internet.

Do ponto de vista operacional as redes WLAN podem ser ampliadas por simples adição de pontos de acesso, interligados sem fio. Portanto, sem necessidade de um “backbone” com fios. Nessa configuração, um Ponto de Acesso pode operar como gateway principal, ou como estação relé (relay station) ou, finalmente, com estações base principais e estações base

remotas.

Um gateway principal é usualmente interligado com fio na rede Ethernet. Já a estação relé comuta informações entre estações base remotas, cliente operando sem fio e outras estações relé.

Assim sendo, as estações base remotas estão em condições de receber sinais de clientes sem fio e retransmitir esses sinais para outras estações relé ou para estações base principais. A comunicação com os clientes segue sempre a prática dos endereços MAC.

Todas as estações de uma rede wireless devem ser configuradas para usar o mesmo canal de rádio e compartilhar as chaves WEP ou WPA, se essas forem usadas.

WEP é acrônimo para Wired Equivalent Privacy, um dos protocolos de segurança de redes sem fio. WPA é acrônimo para Wi-Fi Protected Access, outro protocolo de segurança de redes sem fio.

Um dos aspectos que mais interessa ao projetista de rede sem fio para uso com sistemas profissionais de áudio são as distâncias seguras nas quais os dispositivos sem fio podem operar sem problemas frequentes de comunicação.

O que nos leva diretamente às bandas de radiofrequências utilizadas pelas redes WLAN.

Vejamos então o que estabelece o padrão IEEE 802.11 sobre isso. As duas bandas mais populares previstas no padrão são 2,4 a 2,5 GHz e 5,725 a 5,875 GHz. Respectivamente chamadas banda de 2,4 GHz e banda de 5 GHz.

Neste exato momento preciso me permitir fazer um copy & paste de um trechinho de texto do Capítulo 4 sobre essas bandas.

abro aspas

Para microfones não licenciados é possível utilizar a banda de 49 MHz, a banda ALS (Assistive Listening Systems) de 72 MHz, a banda de 901 MHz a 928 MHz, a banda DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) de 1,92 GHz a 1,93 GHz e a **banda de 2,4 GHz**.

Muitos microfones sem fio foram desenvolvidos para operar sem licença na banda de 901 MHz a 928 MHz, e também na banda de 1,92 GHz a 1,93 GHz assim como na **banda de 2,4 GHz**.

Entretanto, há sempre uma contrapartida pesada para o usuário. Por exemplo, a banda de 2,4 GHz é consideravelmente ruidosa e, principalmente, abarrotada de dispositivos sem fio como telefones sem fio, sistemas wi-fi, bluetooth, brinquedos hi-tech e por aí vai. Outro inconveniente da banda 2,4 GHz é que as frequências mais elevadas exigem mais potência para manter o mesmo alcance físico.

Por exemplo, operando em 500 MHz, um transmissor com 100 miliwatts tem alcance

aproximado de 1 km. Alterando a frequência para 2,4 GHz, o mesmo alcance só pode ser mantido se a potência aumentar para 1 watt. Ou seja, com um incremento enorme de 10 dB!! O que equivale a dez vezes mais potência.”

fecho aspas

Mas acrescento alguns outros argumentos.

O primeiro é ter que engolir alguns sapos simplesmente pelo fato de estar operando numa banda de frequências que não requer que os equipamentos tenham licença.

Um desses sapos é a obrigatoriedade prática de não produzir interferências em outros usuários da banda, mas tendo que aceitar interferências de outros usuários compartilhando a mesma banda.

O segundo é uma pesada limitação da potência transmitida, o que acaba circunscrevendo bastante as distâncias operacionais. Por favor, volte ao exemplo específico que dei sobre isso com frequências mais elevadas.

Como a banda 2,4 GHz torna-se mais congestionada a cada dia que passa, a tendência natural é saltar para a banda de 5 GHz. Outrossim, há uma série de restrições impostas pelas autoridades para uso nessas duas bandas. A primeira imposição é a potência transmitida, cujo limite legal absoluto é 4 watts EIRP, equivalente a +36dBm.

Vejamos o que é exatamente esse limite. Inicialmente vamos desvendar o segredo da sigla EIRP. Ela significa Equivalent Isotropically Radiated Power. Ou Potência Radiada Equivalente ao Isotrópico.

A chave para compreender esse termo é entender o que é uma antena isotrópica. Trata-se da antena que teoricamente é uma fonte pontual geradora de energia eletromagnética, que irradia a mesma intensidade de energia igualmente em todas as direções do espaço. Ou seja, ela não tem preferências por quaisquer direções. Se fosse um microfone, seria o omnidirecional. OK?

Isso posto, vamos prosseguir.

A potência EIRP é a soma da potência elétrica de saída do transmissor, mais o ganho da antena.

Este último estabelecido em termos de dBi, sendo o sufixo “i” usado para que se entenda que o ganho especificado daquela particular antena está referenciado ao ganho da antena isotrópica, tomado como referência. Portanto, 0 dBi.

Assim, podemos montar uma tabela para a potência máxima transmitida para comunicações ponto a multiponto. Que é como segue:

potência do transmissor (dBm)	ganho da antena (dBi)	EIRP (dBm)	EIRP (watts)
30	6	36	4
27	9	36	4
24	12	36	1
21	15	36	1
18	18	36	1
15	21	36	1
12	24	36	1

Portanto, percebe-se que o ganho do transmissor diz relativamente pouco. É fundamental considerar o ganho da antena.

Há um particular fabricante de rádio para WLAN que assegura que seu produto pode operar bem em distâncias de até 50 quilômetros em condições de visada direta.

A empresa é a AvaLan e o produto é o par de transceptores modelo AW2400xTR.

Eles operam na banda de 2,4 GHz, com 29 canais de rádio sem “overlap”. Uma das vantagens desse produto é que eles podem operar com células solares.

Mas, antes de você imaginar que esta é uma solução fácil para muitos problemas, preciso colocar o ingrediente final que também rege o alcance físico dos enlaces de rádio. Que é? Sim senhor, que é a taxa de transmissão de dados.

O conceito é: quanto mais alta é a taxa de transmissão de dados, menor é a distância operacional do rádio.

Creio que um quadro que pode ajudar muito a esclarecer esse ponto é o que segue:

potência transmitida 100mW na banda 2,4 GHz	
taxa de transferência de dados	alcance (metros)
54 Mbps	24,4
48 Mbps	45,7
36 Mbps	61,0
24 Mbps	68,6
18 Mbps	76,2
12 Mbps	83,8
9 Mbps	91,5
6 Mbps	100,0
11 Mbps	110,0
5,5 Mbps	120,0
2 Mbps	134,2
1 Mbps	138,0

Portanto, deve estar claro que o nível de potência elétrica dos transceptores e o ganho da antena são fatores determinantes das localizações dos Pontos de Acesso para que se tenha um nível mínimo de RF por todo o local coberto pela WLAN.

Há alguns programas que ajudam com esses cálculos todos.

Para finalizar gostaria de comentar um detalhe das antenas. Eles conferem as seguintes características à rede sem fios: 1 – ganho, tendo como referência uma antena isotrópica ideal 2 – diretividade, dada pelo padrão de transmissão da antena 3 – polarização, que reflete a direção do componente elétrico do campo eletromagnético. Assim, se o campo elétrico é

orientado verticalmente, a antena tem polarização vertical. Podemos pensar numa antena como um farol de automóvel. A lâmpada do farol sozinha, sem o farol, é a analogia da antena isotrópica. Entretanto, quando a lâmpada é assistida pela parábola do farol, a mesma energia de antes, que era distribuída para todo o espaço, torna-se direcional e pode nos fazer ver no escuro a 100 metros ou mais.

O mesmo ocorre com uma antena direcional, que ajuda a concentrar a energia numa dada direção. Essa concentração é tão intensa quanto maior é o ganho da antena. E com isso, maior a distância de alcance do sistema.

1.20.2.6 Topologias e Variantes P2P – Point to Point ou Peer to Peer



figura 1.12 típica interligação P2P

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 1.12 ilustra uma típica interligação P2P.

Como se percebe, essa maneira de interligar dois pontos nem deveria ser entendida como uma rede. Pois na acepção do termo realmente não é.

Exemplos práticos de interligações P2P são interligações MADI e AES/EBU e, ainda S/PDIF própria para o segmento do áudio de consumo.

daisy chain

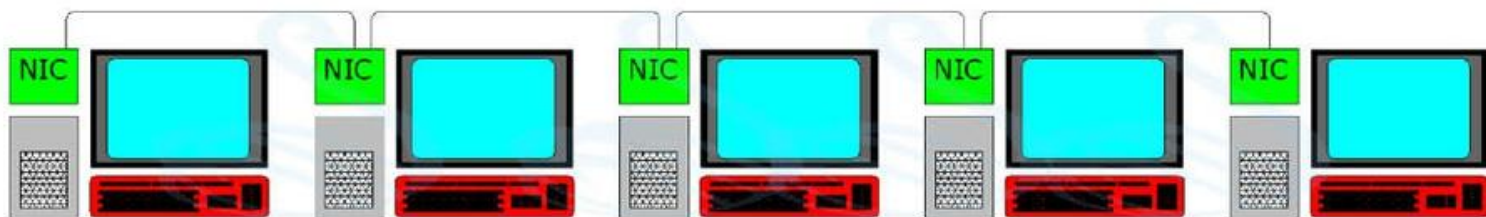


figura 1.13 topologia daisy chain acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como sugere a figura 1.13, nesta topologia simples os componentes são ligados em série, numa cadeia sequencial. Ou, se preferir, numa fila.

Os protocolos utilizados nas redes Ethernet possibilitam que qualquer ponto da topologia daisy chain seja o remetente e que quaisquer outros pontos sejam os destinatários. Isso, graças aos endereços associados a cada ponto.

No caso dos sistemas ASE usando redes 100baseT a comunicação é sempre bidirecional com tipicamente 64 canais de áudio em cada direção.

Uma das vantagens mais importantes dessa topologia é que o caminhamento das

informações é sempre muito simples e direto, o que acarreta uma latência reduzida, de não mais do que 1,38ms para cada ponto inserido na rede. A contrapartida para isso é uma tremenda desvantagem, cuja probabilidade de ocorrência é muito remota mas, ainda, possível.

Trata-se da reação da rede no caso de haver uma falha num cabo, conector ou componente da rede. As chances são de que a cadeia seja fragmentada em duas partes distintas que, pior de tudo, deixam de se comunicar entre si.

anel (ring)

Esta topologia é ilustrada na figura 1.14.

Percebe-se que a topologia anel pode ser entendida como sendo a topologia daisy chain na qual o último componente da cadeia é interligado com o primeiro.

Tal arranjo acaba produzindo um elo fechado, ou anel completo, característica que dá o nome à topologia.

A principal desvantagem da topologia daisy chain, que discutimos há pouco, deixa de existir na topologia anel.

Porque se qualquer cabo, conector ou componente apresentar falha, apenas esse item com defeito deixa de se integrar à rede que, nesse caso assume a configuração típica da topologia daisy chain.

Sendo totalmente operacional, exceto pela ausência do item defeituoso.

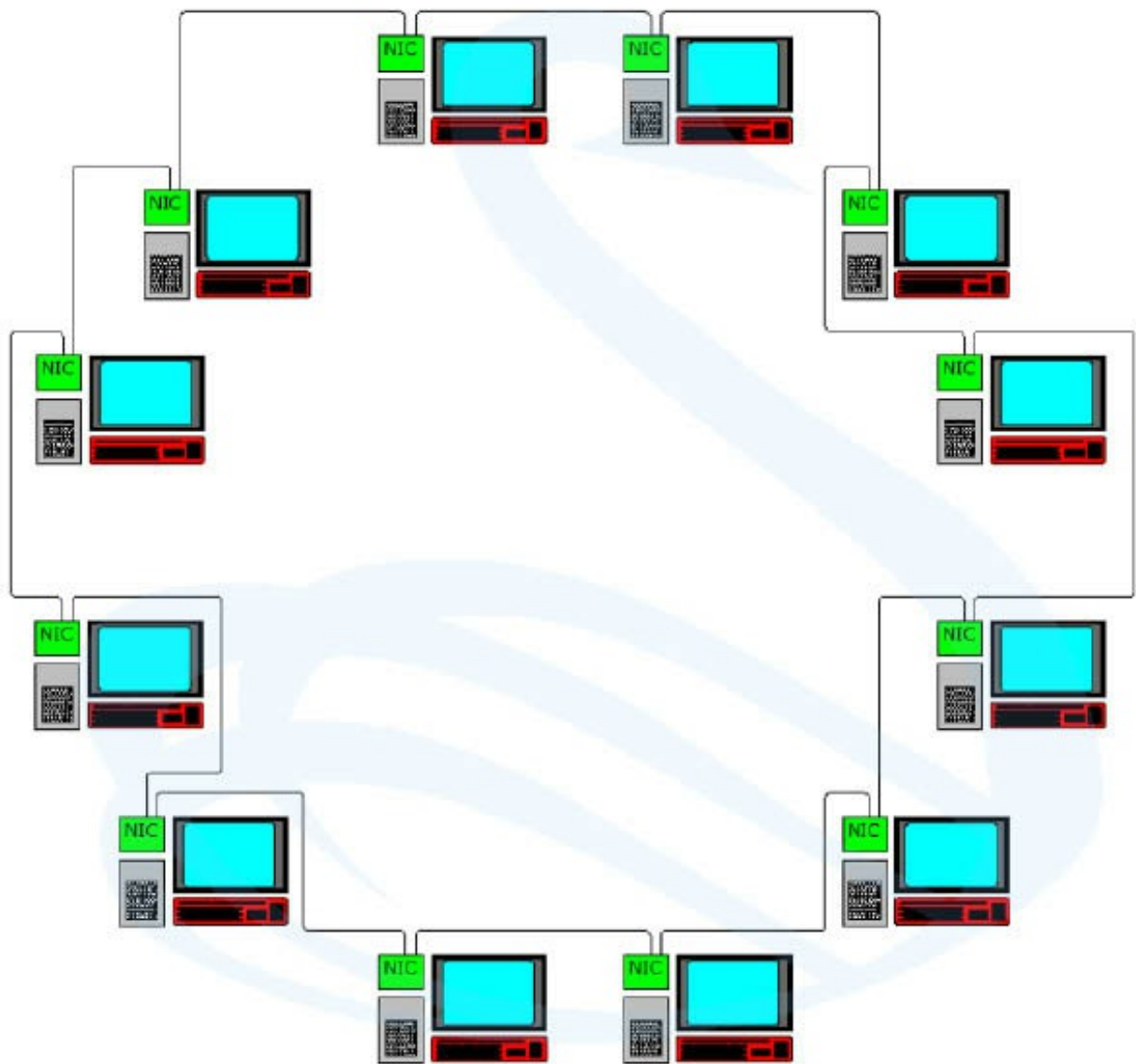


figura 1.14 topologia anel acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estrela (star)

A figura 1.15 mostra uma rede com topologia estrela bem caracterizada.

O centro da rede é ocupado pelo switch.

Vamos observar que todo o tráfego de dados em curso pelas vias dessa topologia de rede acaba passando, necessariamente, pelo switch.

Isso transforma esse componente numa peça chave da rede, já que o mesmo acaba adquirindo uma espécie de missão crítica.

Por isso mesmo os switches usados nas redes estrela devem ser escolhidos com cuidado extremo.

Especialmente o que se refere à capacidade de processamento de tráfego e o que diz respeito à confiabilidade.

Considerar um switch redundante não é uma providência sem propósito. Ao contrário, pode ser uma excelente opção técnica.

Em contrapartida, as partes mais terminais dessa topologia processam tráfego tipicamente reduzido, por vezes de muito pouca densidade.

A maior desvantagem da topologia estrela é que as informações detalhadas das

localizações dos componentes ligados na rede fluem sempre pela própria rede.

Assim, diante de uma falha eventual é possível e até provável que que uma porção considerável da rede seja toda afetada.

A saída técnica para essa circunstância é a redundância planejada no grau considerado adequado.

O que, por sinal, pode variar consideravelmente de caso para caso.

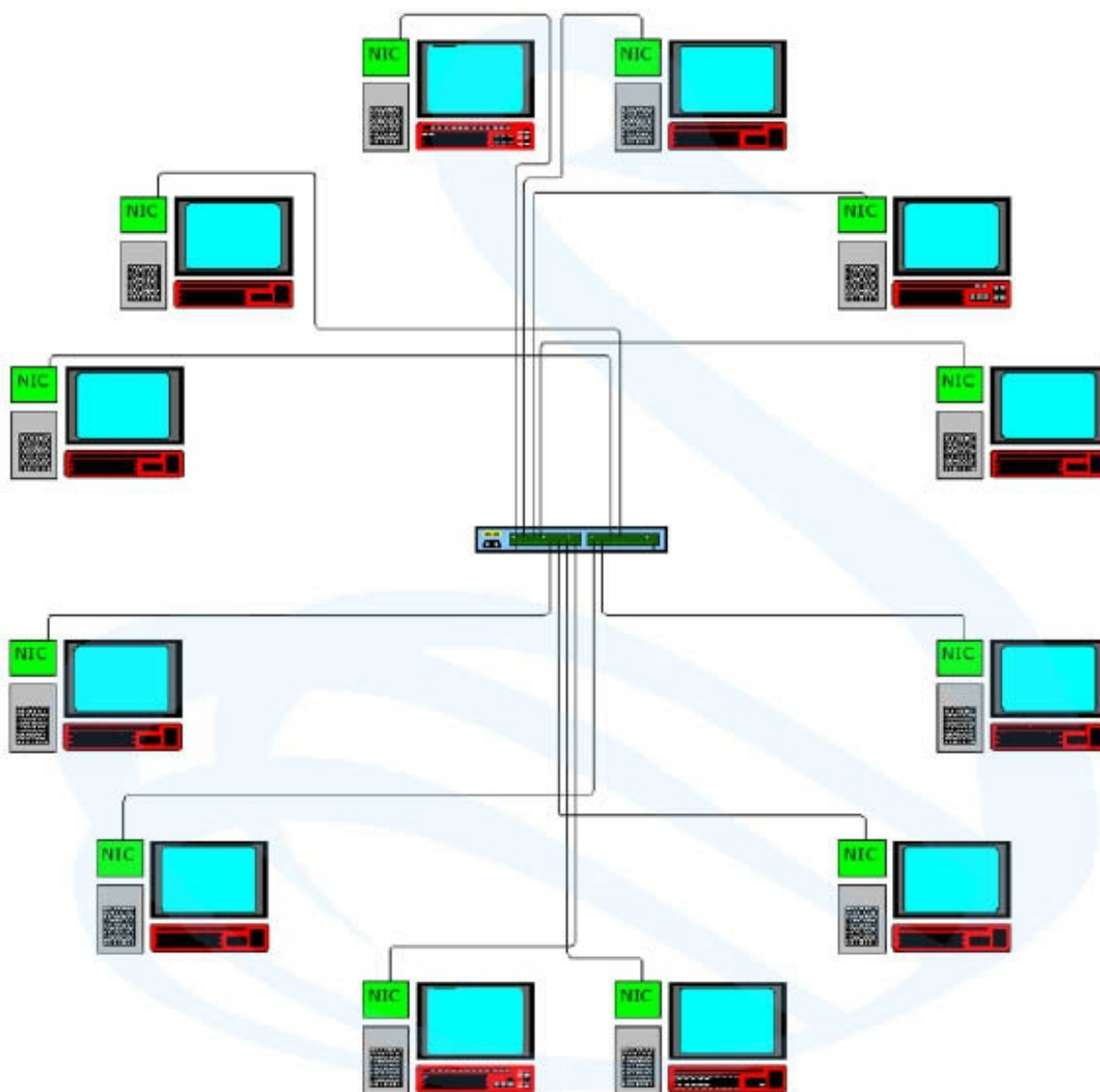


figura 1.15 topologia estrela acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne variantes

Todas as topologias de rede discutidas até aqui comportam algumas alterações, dando origem ao que se conhece como variantes.

A topologia P2P pode ser incrementada com dispositivos de distribuição de dados como splitters e roteadores, com a finalidade de se incluir componentes adicionais.

A topologia daisy chain pode ser alterada com switches que transforma a topologia numa configuração híbrida de daisy chain com estrela.

A topologia anel pode ser incrementada na direção da confiabilidade mediante emprego de anéis adicionais redundantes.

A topologia estrela pode ser facilmente modificada para as variantes “árvore” e “estrela de

estrelas”, cujos nomes sugerem bem os correspondentes arranjos físicos.

Evidentemente é possível desenhar topologias mistas, formadas pelas topologias primárias discutidas acima.

1.20.2.7 Distâncias Possíveis, Fibras Óticas e Conversores de Mídia Já discutimos bastante a questão do alcance físico dos sistemas sem fio quando falamos de WLAN. Mas ainda é possível acrescentar o que segue: distâncias

Podemos considerar que a distância máxima para lances de cabos UTP em redes Ethernet é 100 metros. Distâncias maiores podem ser obtidas, desde que sejam colocados switches para expandir esse limite padrão.

As distâncias para sistemas de rádio é como acabamos de ver no tópico 1.20.2.5.

Com relação às fibras óticas, as fibras multimodo podem atingir, com facilidade, 550 metros. Já as fibras monomodo com comprimento de onda de 1310 nm atingem 10 quilômetros, contra 75 quilômetros das fibras monomodo com comprimento de onda de 1490 nm.

conversores de mídia Conversores de mídia são dispositivos semelhantes a switches, mas que possuem capacidade de converter sinais de cabo UTP para fibra monomodo ou multimodo, ou de fibra multimodo para fibra monomodo e outras conversões.

Como nos switches, os conversores de mídia podem ser gerenciáveis e não gerenciáveis. Estes últimos também chamados de “plug and play”.

A figura 1.16 oferece uma ideia global de uma rede Ethernet usando cabos UTP, além de fibra ótica para estender fisicamente o alcance da rede.

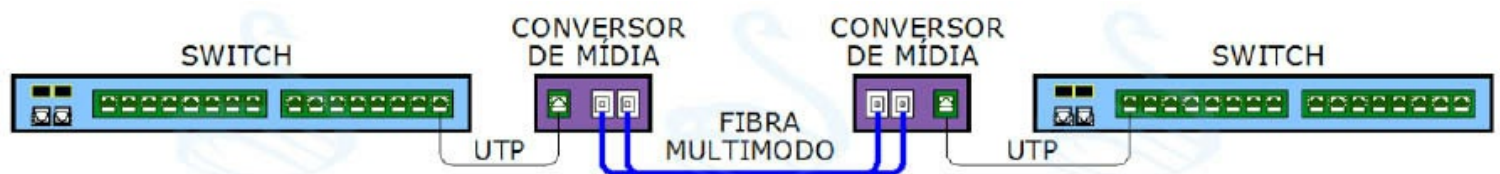


figura 1.16 rede usando conversor de mídia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Um dos grandes fabricantes de conversores de mídia, a Perle Systems Inc., produz cerca de 830 modelos de produtos e informa em seu site que com eles é possível estender o alcance de rede Ethernet em até 160 quilômetros.

extensores, boosters e cabos Extensores e boosters são dispositivos que amplificam os sinais recebidos e/ou a transmitir em redes Ethernet sem fio, para níveis especificados, de sorte a possibilitar o aumento das distâncias de cobertura em muitos casos.

Importante notar que os cabos introduzem perdas dos níveis dos sinais. Seria, portanto, um enorme contra senso projetar o uso de um extensor ou de um booster de um lado, sem nenhuma preocupação com o cabo que leva o sinal até ele ou, com os cabos utilizados no sistema, itens que podem introduzir perdas apreciáveis.

Por sinal, muitas vezes o que é preciso sequer é mesmo um extensor ou um booster, mas a

substituição dos cabos que podem estar introduzindo perdas apreciáveis por outros, com características elétricas de perdas reduzidas em relação ao que se usa.

Posso lhes assegurar que esse é um aspecto quase sempre esquecido. A primeira providência tende a ser mesmo a de introduzir no sistema um extensor ou um booster, já que com certeza estes aumentam o ganho global.

Pois é. Só que antes de aumentar o ganho global é preciso ter certeza que as perdas já foram minimizadas para o limite prático de cada caso. O que implica numa certa dose de cuidados com os cabos.

antenas

Nessa mesma linha de raciocínio, outro ponto a considerar é a antena que está sendo usada.

Já vimos que o ganho das antenas é especificado em termos de dBi, numa referência ao ganho unitário das antenas isotrópicas.

O mercado oferece uma enorme variedade de antenas, quer no que concerne ao formato físico, quer no que se refere à instalação interna/externa e outras, mas principalmente com relação ao ganho. Que pode variar muito de 2 dBi a 25 dBi ou mesmo mais. Você já sabe que quanto maior o ganho da antena mais direcional ela se torna. Lembre-se do exemplo anterior do farol de automóvel.

O aspecto diretividade da antena passa a ser muito importante porque dependendo da localização da antena, pode ser mesmo desejado que a antena radie energia para uma região concentrada, ao que vale dizer com ângulo de cobertura reduzido. Nesse caso uma antena direcional é a provável solução. Porém, se a necessidade é de ter a radiação em todas as direções a antena direcional não pode atender. Essa relação estreita entre ganho-diretividade-localização é um dos aspectos mais importantes em qualquer projeto de sistema sem fio. Em casos de sistemas críticos para instalações profissionais, como o que desenvolvemos há alguns anos atrás para a Vale, costumo recomendar que seja feito um “survey” de campo para assegurar que as condições de projeto efetivamente refletem a situação do mundo real no qual as antenas vão trabalhar.



figura 1.17 antena parabólica para redes Ethernet sem fio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 1.17 mostra uma típica antena para redes Ethernet sem fio. Trata-se de um modelo tipo grade com formato de mini refletor parabólico próprio para a banda de 2,4 GHz, com ganho de 24 dBi, provido de conector tipo N fêmea. Seu preço é considerado acessível, na faixa de US\$ 40.00 FOB.

1.20.2.8 Redundância e Confiabilidade Nos sistemas convencionais de áudio as informações fluem individualmente através de cabos elétricos. De modo que se um cabo sofre avaria, apenas o sinal em curso por aquele cabo é afetado. Naturalmente, há casos nos quais interligações alternativas ou redundantes foram planejadas e uma solução foi prevista para cada possibilidade de falha, o que possibilita recuperar o estado original do sistema de modo fácil e rápido.

Já nas redes Ethernet uma simples falha de um cabo pode pôr em risco a operação de todo um sistema. Essa característica nata das redes obriga a pensar na redundância como parte integrante de todo o sistema. De sorte a manter elevada a confiabilidade do todo.

Alguns casos requerem redundância em escala elevadíssima. Como nas usinas nucleares de energia, bancos e organismos de segurança em geral. Lembro-me do projeto do sistema de som que fizemos com a Philips Projects de Eindhoven para as Uninas Nucleares Angra I e II. Tudo devia ser previsto em triplicata: o sistema principal e mais dois sistemas redundantes. O projeto era tal que se alguma coisa apresentasse falha a substituição deveria ser feita automaticamente. O que se chama “hot standby”.

trunking

O padrão IEEE 802.1.ad prevê que os switches gerenciáveis sejam conectados à rede através de dois ou mais cabos, dividindo as informações enviadas e recebidas da rede pelos cabos utilizados.

Esse recurso é conhecido pelo nome trunking.

Mas a grande vantagem do trunking não é a distribuição das informações pelos cabos, mas sim a circunstância de que, no caso de falha de um dos cabos, o outro, ou outros, assumem automaticamente as informações que cursavam pelo cabo danificado.

No caso de um ou mais cabos assumirem a função de um cabo danificado, o switch não só faz a comutação automaticamente, mas também reduz a velocidade da transmissão de forma a evitar que a velocidade de transmissão supere os limites de projeto. Sabendo disso podemos projetar a rede e seus componentes com margem suficiente para que essa redução de velocidade não produza limitações indesejáveis.

A figura 1.18 ilustra a arquitetura do recurso trunking

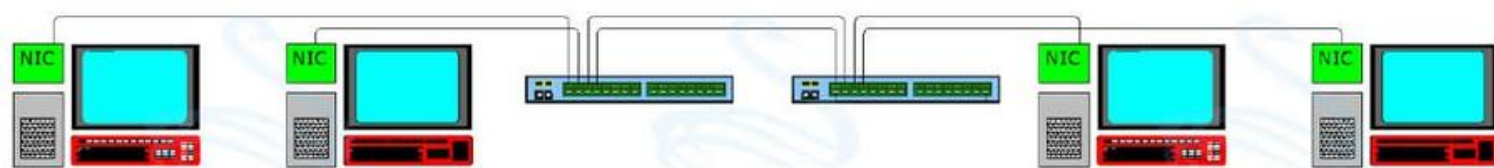


figura 1.18 arquitetura do recurso trunking acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne anel (ring)

A figura 1.14 já revelava a arquitetura do recurso anel.

Em essência, este recurso é uma forma de implementação de uma rede anel para proteção

de topologias menos favorecidas por recursos naturais. O que significa que qualquer componente da rede é ligado a ela através de dois cabos. Portanto, se um cabo qualquer apresentar falha a integridade de conexão da rede ainda estará intacta. Nesse caso, como nas redes daisy chain, uma segunda falha de cabos segmentará a rede em duas partes que, como vimos, tornam-se incomunicáveis.

Para evitar essa ocorrência pode-se prever em projeto um segundo anel redundante que, de modo geral, é uma alternativa comum para os projetistas, de implementação fácil e de resultados considerados excelentes.

spanning tree

A arquitetura do recurso spanning tree é o que mostra a figura 1.19.

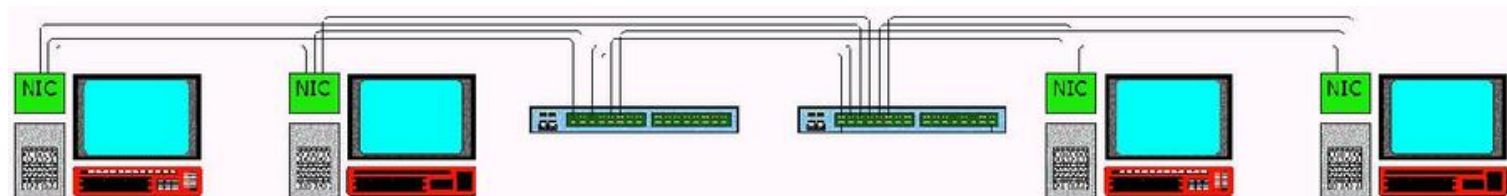


figura 1.19 arquitetura do recurso spanning tree acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nas redes estrela os pacotes de dados são encaminhados para os endereços MAC (Media Access Control) e IP. Isso significa que a rede deve ser portadora de uma arquitetura absolutamente lógica. Ou seja, para cada combinação de remetente-destinatário deve haver apenas uma via de comunicação, envolvendo switches e cabos. Porque, do contrário, cria-se o que é conhecido como “elo” (loop). Nesse caso, corre-se o risco dos pacotes permanecerem circulando pelos elos para sempre. O que pode produzir prejuízos para a rede ou mesmo tirá-la do ar.

Por essa razão os elos não são admitidos nas topologias estrela. As exceções ficam por conta de uso de switches gerenciáveis que atendem ao padrão 802.1w Spanning Tree Protocol, abreviado para STP no mercado. Esses switches têm a capacidade de bloquear portas inseridas em elos e de permitir a passagem por essas mesmas portas no caso de falha da porta ativa do elo. Nesse caso é possível – e até desejado – projetar inúmeros elos numa rede de sorte a proteger a confiabilidade da rede na área assim projetada.

Outra forma de proteger a rede é duplicar todos os switches e cabos. Isso possibilita que o sistema se recomponha de quaisquer tipos de falhas. Infelizmente isso não ocorre em tempo real, já que há um tempo típico de recuperação de aproximadamente 25 segundos para redes muito grandes. A alternativa para isso é utilizar switches que atendam à norma IEEE 802.p Rapid STP, desenvolvido precisamente para contornar esse problema de tempo de recuperação, reduzindo-o para um máximo de 100 milissegundos.

meshing

A figura 1.20 ilustra graficamente o recurso meshing.

Nesta forma de redundância cada componente da rede é interligado a todos os demais componentes através de cabos específicos.

Essa característica do recurso meshing é bem claro na figura 1.20.

Percebe-se, portanto, que esta é uma forma muito eficaz de proteger a integridade e a confiabilidade da rede.

A grande desvantagem é que os componentes da rede, incluindo switches, devem possuir capacidade de interligação muito superior ao que é preciso e suficiente com outras alternativas, além do emprego de quantidade muito maior de cabos do que em outras alternativas.

Infelizmente isso resulta em mais investimento.

Creio que posso colocar dessa maneira. O investimento feito em confiabilidade através do uso de recursos de redundância aumenta na proporção de mais confiabilidade que esse mesmo investimento gera.

Ora, maior proteção, custo mais elevado. Sem dúvida esse é um aspecto a ser decidido pelo projetista da rede à luz das necessidades em cada caso.

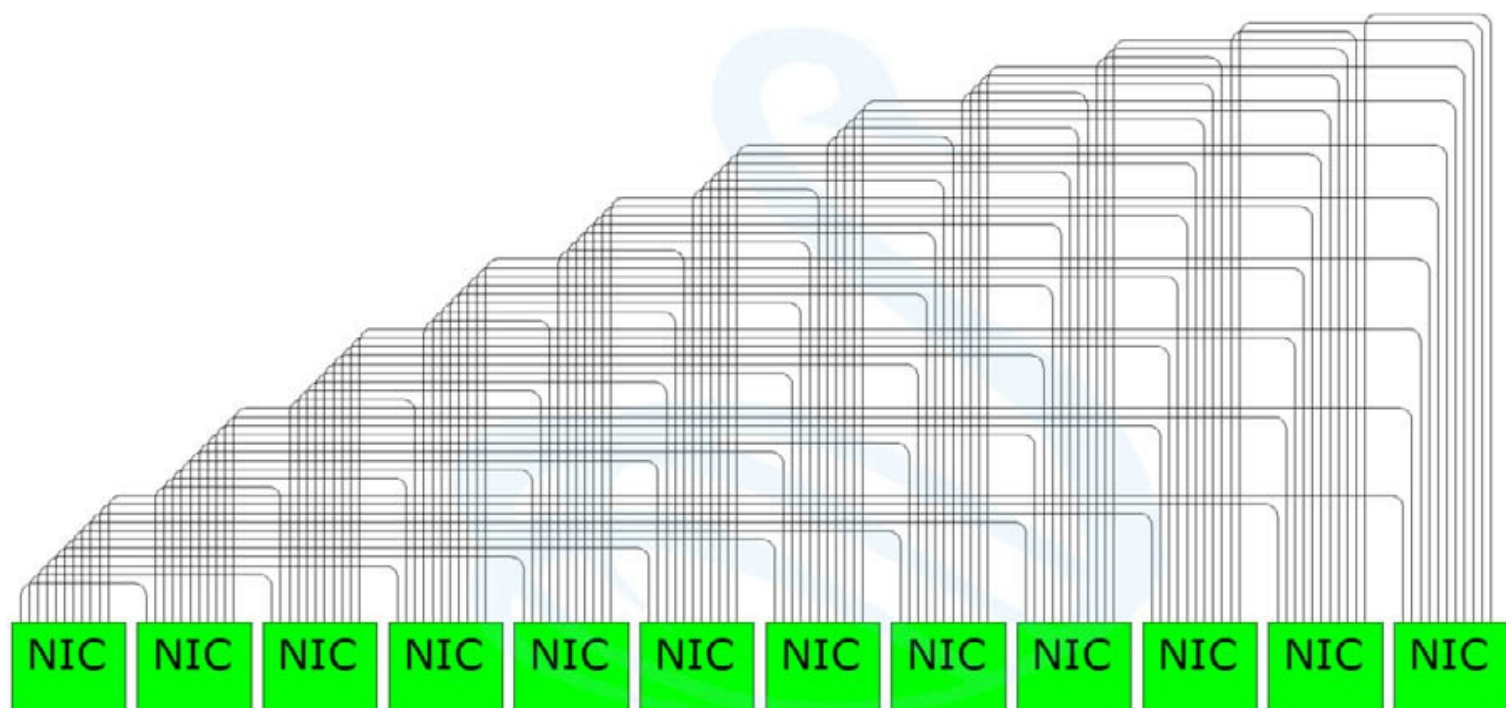


figura 1.20 arquitetura do recurso meshing acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne links duplos e múltiplos Como veremos adiante, a maior parte dos protocolos abertos e fechados oferecidos no mercado para a implementação de sistemas ASE já possuem portas duplas para a duplicação dos cabos e dos links.

Nesses casos, se a conexão primária apresenta quaisquer problemas a conexão secundária assume e tudo continua operacional. Até porque é sempre possível interligar um link com um determinado switch e o outro link com outro switch. O que possibilita a configuração de STP redundante, incluindo switches redundantes.

unidades redundantes e hot standby A estas alturas o leitor certamente já tem uma excelente noção do serviço que pode ser prestado por unidades redundantes trabalhando na condição hot standby. Motivo pelo qual não entro em mais detalhes, lembrando apenas que esse é um recurso dos mais usados para assegurar confiabilidade elevada a quaisquer

sistemas.

Cabe sempre ao projetista da rede, em função dos parâmetros de partida definidos pelo cliente, optar pelos critérios de redundância e confiabilidade em cada caso, incluindo combinações de alternativas.

Um dos conceitos que me deparo com mais frequência em casos do dia a dia é que sistemas fixos podem operar com menos redundância que os sistemas voltados para tour. Talvez isso seja mesmo um aspecto verdadeiro. Como projetista, entretanto, prefiro dotar todo e qualquer sistema com o máximo de confiabilidade possível, limitado apenas pelo orçamento disponível.

Outro critério que costumo utilizar é encaminhar os cabos através de rotas alternativas. O que ajuda a preservar a integridade do todo em caso de avaria da infraestrutura no trecho contendo o cabo primário e o secundário!

Também compete ao projetista definir o tempo máximo que qualquer rede precisa para se recuperar de falhas previsíveis.

Em casos de protocolos fechados os critérios de redundância são os determinados pelo fabricante e não pelo projetista.

Observe que é fundamental dispor de conhecimentos específicos de rede para pensar em critérios de redundância e de confiabilidade das redes Ethernet. Certo? É o que veremos a seguir.

1.20.3 Projetos de Redes Ethernet expertise



figura 1.21 equipe especializada no içamento de cargas pesadas içando uma das pilhas linearray no Ginásio Municipal de São Bernardo do Campo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como para qualquer sistema de áudio profissional, é sempre recomendável que os sistemas baseados em ASE sejam implementados com lastro em projetos executivos bem elaborados. Na maioria das vezes isso significará incluir no projeto global o projeto da rede Ethernet.

Não deve ser nenhuma surpresa que os engenheiros de áudio e os projetistas de sistemas de som ainda não tenham chegado ao ponto de dominar completamente o assunto redes Ethernet. O que, em minha opinião, seria muito bom. Mas não imperativo. Porque há muitos especialistas em redes que podem trabalhar de forma cooperada com os projetistas de som. Esse time é cada vez mais numeroso.

No passado, especialistas em energia eram consultados e muitas vezes acabavam integrando as equipes de projetos de grandes sistemas, para que se tivesse a necessária salvaguarda de que o suprimento de energia fosse feito de modo seguro e sem problemas. Depois foi a vez do vídeo. Mais tarde vieram os especialistas em estruturas metálicas e de concreto, nas quais se penduram toneladas de equipamentos – o que, obviamente, deve ser feito com total segurança – sem falar nos especialistas em rigging e no içamento de cargas relativamente pesadas.

Esse time foi aumentando e aumentado até que chegamos à questão das redes Ethernet.

Ora, tal aspecto é realmente muito importante porque são muitos e complexos os quesitos de rede envolvidos para que o resultado final seja muito bom.

Na opinião deste autor é fundamental que o especialista em redes participe de todo e qualquer projeto de sistema de qualquer porte. Inclusive nos pequenos casos de Home Theater nos quais a expressão Wi-Fi é uma das que domina o dialeto de campo.

Independentemente disso também recomendo que o projetista de sistemas de áudio comece a fazer cursos específicos de redes Ethernet. Com e sem fio. Sem dúvida esses são conhecimentos que podem fazer a diferença em futuro bem próximo.

quantidade de canais necessários Uma das primeiras coisas a considerar nos sistemas ASE é a quantidade de canais desejada. Claro que isso deve ser examinado com os olhos no futuro.

Mesmo que a necessidade atual na ocasião do projeto seja reduzida, é preciso dar asas à imaginação e pensar num horizonte mínimo de dez anos.

O que também não significa que tenhamos que escolher um aparato com capacidade absurda de expansão apenas para não errar no futuro. Em casos assim, em condições extremas, o erro acaba mesmo sendo praticado no presente porque sistemas com margens muito exageradas de expansão costumam ser bem mais onerosos do que outros, com margens mais pé no chão.

Essa é uma equação que compete ao projetista resolver. Entretanto, como envolve de perto o investimento a ser feito, penso que a opinião do cliente deve e precisa ser levada em conta.

quantidade de pontos e respectivas localizações Com a definição dos pontos e respectivas localizações a arquitetura física da rede Ethernet começa a ser delineada. Para um projetista experiente os primeiros problemas já começam a se mostrar nessa etapa. Felizmente, por outro lado as correspondentes soluções também começam a surgir. Geralmente na forma de alternativas possíveis. O que possibilita fazer as primeiras análises e reforçar as linhas desse desenho que começa a ser feito.

distâncias físicas entre localizações Muitos sistemas de grande porte envolvem distâncias relativamente pequenas do ponto de vista de rede Ethernet. A exemplo de uma típica arena esportiva. Na qual as maiores distâncias são da ordem de algumas poucas centenas de metros.

Em contraste com usinas geradoras de energia elétrica. Apenas para citar um caso, no projeto de sistema de som que fizemos para a Usina de Ilha Solteira, as distâncias envolvidas eram de muitos quilômetros. Obrigando a usar fibras óticas.

Cada caso é diferente dos demais, apresentando suas próprias peculiaridades e, como tal, merece ser considerado com todo o cuidado nas etapas iniciais.

Considere que as distâncias envolvidas entre localizações podem ser ligeiramente alteradas em função da possibilidade de alterações das próprias localizações, feitas com o precípua objetivo de alterar favoravelmente as distâncias envolvidas.

Seja lá como for, ao final desta etapa a definição da arquitetura física da rede terá avançado consideravelmente.

estratégia de segurança desejada Creio que já escrevi o suficiente a respeito da segurança das redes Ethernet. Gosto sempre de realçar que as redes com fio são – em minha opinião – sempre mais seguras do que as redes sem fio. Portanto, enlaces de rádio devem ser feitos com cuidados muito intensos.

Em telecomunicações, e na área profissional, há muito que os enlaces são feitos na condição 1+1 e até 1+2, nas quais o último algarismo se refere ao enlace redundante.

Por falar em redundância e em segurança, o suprimento de energia merece considerações próprias e exclusivas. Tanto no que se refere à possibilidade de falha no suprimento quanto à qualidade do suprimento.

É no quesito segurança que um bom projeto executivo pode eliminar praticamente todas as possibilidades previsíveis de problemas, oferecendo as soluções de contorno já como parte integrante do projeto.

Como estamos falando de projetos de redes, é facilmente perceptível que o nível de conhecimento técnico das redes é de profundidade e envolve praticamente todos os aspectos da rede.

Razão pela qual recomendei que os projetistas se dedicassem a cursos. Mesmo que eles deixem a parte de projeto de rede para especialistas experientes – o que é o ideal – a comunicação entre projetista do sistema de áudio e o projetista da rede será muito facilitada, já que o nível de entendimento torna-se muito elevado.

níveis de controle

De certa forma os níveis de controle desejados correspondem a um recurso tanto de

operação quanto de manutenção.

A boa notícia é que praticamente todos os protocolos que possibilitam a implementação de sistemas ASE já foram concebidos de forma que permitissem encaminhar sinais digitalizados de áudio e sinais de controle, entre outros, pela mesma via física. Seja ela cabo ou rádio.

Isso significa que não há qualquer pressão sobre o projetista no momento de considerar o que é conveniente em termos de níveis de controle tanto no presente quanto no futuro.

infraestrutura a ser utilizada Em muitos casos a infraestrutura de rede já existe. Em outros ela deve ser totalmente construída. Também há casos nos quais parte da infraestrutura pode ser aproveitada e outra parte deve ser construída.

Essas são as alternativas.

Quando me refiro a construir redes devo ressaltar que absolutamente não podemos pensar apenas em infraestrutura dentro das edificações. É preciso pensar que em muitos casos grandes há interligações a fazer entre prédios, entre locais distintos e muitos distantes, como foi o caso do PROJAC da Rede Globo de TV, quando lidamos com distâncias muito grandes em comparação com a média das distâncias de casos gerais.

Mesmo no interior de prédios é possível encontrar situações mais fáceis, como toda uma rede já existente, com fatura de vias. Mas também há casos muito difíceis, por exemplo quando os prédios são muito antigos, com paredes com espessura típica de 50 ou 60 centímetros, quando não tombados pelo CONDEPHAAT, circunstância que proíbe furações a quaisquer títulos, mesmo as feitas quando pregamos um preguinho na parede!!



figura 1.22 caixas elétricas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Então vem a questão da infraestrutura externa. Por exemplo, quando é preciso usar tubulação enterrada, a exemplo do que é preciso para que se tenha conectores físicos reais para microfones em diversos pontos da área gramada. Tipicamente entre 50 a 100 pontos para microfones em cada um desses casos. O mesmo se aplica a campos de mineração, a aeroportos, a usinas geradoras de energia, a instalações de grande porte com o PROJAC, anteriormente citado, e mesmo para mega instalações esportivas, a exemplo de jogos como os Panamericanos ou as Olimpíadas. Como fizemos projetos para casos assim, posso lhes assegurar que a parte da infraestrutura é jogo duro. Mas é algo que tem que ser feito.

Em todos esses casos o projetista experiente leva muita vantagem, porque conhece o caminho das pedras e sabe o que evitar.

Pode até parecer bem simples a tarefa de desenhar um segmento de infraestrutura externa enterrada numa área gramada. Mas é preciso pensar que os eletrodutos ficarão sujeitos à ação do tempo, de ratos que parecem gostar muito dos cabos elétricos e das fibras óticas, *etc.* Sem falar na necessidade de prover pontos intermediários para inspeção, manobras, medições e mesmo facilitar a tarefa de lançamentos dos cabos.

Acreditem, é tarefa das mais difíceis e arriscadas. Cujo antídoto único é o conjunto de cuidados prévios utilizados, além da experiência.

A figura 1.22 mostra alguns casos mais comuns de caixas externas. 1 – caixa enterrada, onde se observa o fundo com brita, para drenagem de eventuais acúmulos de águas pluviais que possam passar pela proteção, 2 – caixa blindada para fibras óticas, uso aéreo, 3 – conjuntos de caixas externas elevadas do piso por meio de mini postes para tanto plantados e 4 – armário de uso externo sobre base de concreto.

cabos, conectores e padrões de conectividade Todos sabemos que um dos principais focos de problemas de manutenção com os sistemas de áudio profissionais ou não, ficam muito concentrados nos conectores e na conectorização, onde cabos e conectores se encontram.

Isso continua sendo verdadeiro para sistemas ASE.

Mais uma razão para nos preocuparmos com as respectivas qualidades.

Tanto dos materiais empregados quando da mão de obra utilizada, que deve ser altamente especializada.

Sabe-se que qualquer fabricante de conector para redes Ethernet, a exemplo dos conectores RJ45, só podem fabricar produtos se atenderem integralmente os padrões existentes, inclusive os de qualidade com as respectivas certificações.

Ainda assim, há conectores de melhor lavra do que outros.

O que leva o mercado a preferir determinadas marcas e modelos, a exemplo do que mostra a figura 1.23.



figura 1.23 Neutrik modelos NE8FDX-P6 e NE8MX-6 para cabos UTP cat6a cortesia Neutrik AG

De qualquer forma um dos aspectos mais importantes de cabos e conectores, quando se pensa em qualidade e confiabilidade é imperativo que todos os lances de cabos já conectorizados sejam devidamente certificados.

O que não pode ser feito com os testadores de R\$ 20,00 vendidos por camelôs. É realmente fundamental usar testadores como o da figura 1.24. No caso do kit da figura, o preço

é US\$ 12,000 FOB, incluindo maleta para transporte.



figura 1.24 Fluke DTX-1800, próprio para certificação de cabos até categoria 6a cortesia Fluke Corporation Não se admite operar um sistema profissional ASE em redes não certificadas dessa maneira. Os testadores baratinhos a que me referi antes são simples testadores de continuidade. Mas o que temos que saber é se todo e qualquer lance iguala ou supera as perdas de energia, crescentes com o aumento da frequência em curso pelo cabo.

Lances de cabos que não atendam a todos esses padrões de qualidade precisam ser refeitos ou substituídos. Lembremos que estamos lidando com a parte mais vulnerável de qualquer sistema ASE.

Portanto, de nada adianta elaborar um projeto executivo primoroso, adquirir itens de qualidade comprovada e morrer na praia com lances de cabos não certificados. Portanto, com chances de impor atenuações indesejáveis e que podem comprometer a integridade e operação de todo o sistema.

Caso sua empresa ainda não tenha atingido o ponto em que um kit Fluke como o da figura não representa bom investimento pois será usado apenas vez por outra, é sempre possível contratar os préstimos de uma empresa terceirizada e especialista em certificação de cabos de rede. Essas empresas não são raras nem seus preços são tão elevados a ponto de nos deixar de mal humor por uma semana.

análise das alternativas e definições estratégicas Mesmo que consideremos o ASE uma verdadeira revolução no seio do áudio moderno, não significa que todo e qualquer sistema deve seguir essa trilha. Assim como nem sempre o mixer digital é vantajoso em relação ao analógico. Por sinal, esse é o motivo pelo qual praticamente todos os fabricantes produzem modelos digitais e analógicos de mixers.

Aí vai a primeira dica. Quando o caso exige um mixer analógico e não digital, as chances

são de que sistemas totalmente convencionais com cabos comuns e todo o resto seja a melhor alternativa.

Também podem haver casos mistos. Em que parte é convencional e parte é ASE.

Estas opções correspondem a definições estratégicas já que têm implicações múltiplas, envolvendo questões de investimentos, para começar, passando por condições de operação e níveis de capacitação real dos operadores, para terminar com facilidade ou dificuldade de ampliações futuras, bem como qualificação da mão de obra disponível para os serviços de instalação e de alinhamento do sistema.

Esses são apenas poucos dos muitos fatores que entram nessa equação e que devem ser bem ponderados, analisados para decisão de como será o sistema.

escolha da topologia A definição da topologia da rede Ethernet pode ser uma tarefa muito simples, mas também pode ser algo dilacerantemente complexo.

Outro daqueles aspectos que dependem essencialmente das características de cada caso.

O que recomendo é que essa escolha seja feita sem que se perca de perspectiva a questão da confiabilidade e das redundâncias.

Para redes de porte médio e grande geralmente é uma boa ideia dividir o todo em partes menores, atribuindo um switch específico para cada parte. Uma alternativa sempre viável e econômica para isso é fazer uso inteligente do recurso VLAN, que também possibilita dividir o todo em partes menores. Claro que a questão dos custos envolvidos deve ser levada em consideração durante toda a etapa de definir a topologia das redes.

Importante considerar que é sempre possível criar VLANs de maneira independente do cabeamento físico.

Outra medida que pode ser implementada é empregar a velocidade de, por exemplo, 100 MBPS numa VLAN, para, digamos, transmissão de informações de controle e, simultaneamente, empregar velocidade de 1 Gbps em outra VLAN, agora para transmissão de áudio.

Para não ir muito mais longe, essas e algumas outras considerações devem estar no escopo do projetista durante toda a fase de definição da melhor topologia de rede que o particular caso em análise exigir.

rede global ou apartada Claro que podemos usar uma rede Ethernet já existente sem mais nada. O que, em geral, não é uma boa ideia.

O mínimo que podemos fazer é configurar a rede para que tenhamos uma VLAN atendendo exclusivamente aos componentes do ASE que estamos implantando.

Melhor ainda do que isso é nos valermos de uma rede totalmente apartada. Até podemos usar cabos UTP ou STP ou SSTP já lançados numa rede. Mas, fora esse compartilhamento

físico na mesma infraestrutura, nada mais é compartilhado. Todos os cabos utilizados na nova rede serão integrados com switches e outros dispositivos que nada têm a ver com a rede já existente. Circunstância essa que é denominada rede apartada.

Por sinal, a rede apartada também pode ter infraestrutura própria não compartilhada com nada mais.

seleção das partes

As partes de uma rede Ethernet não simplesmente escolhidas porque temos preferência por essa ou por aquela marca, ou porque ouvimos dizer que tal produto é bom ou excelente, nem porque os preços são considerados uma excelente relação custo/benefício.

Agora, a opção é orientada principalmente por parâmetros técnicos. Ou poderá não ser possível operar a rede como desejado.

Vejamos então cada um dos blocos construtivos das redes Ethernet.

NICs (cartões de interface) Nos computadores mais idosos as NICs eram um apêndice que podia ser comprado à parte. Ou não. Nas máquinas atuais as NICs já fazem parte integrante do pacote. Tanto na forma de interface para cabos UTP quanto para acesso às redes sem fio.

Mas temos que orientar nossa discussão para o caso dos equipamentos profissionais de áudio Vou me valer dos mixers digitais Yamaha que oferecem uma verdadeira coleção de NICs, cada qual apropriado para interfacear um determinado protocolo. Como veremos.

A figura 1.25 exibe uma parte do painel traseiro do mixer Yamaha digital PM5D, no qual estão os 4 slots para a inserção de cartões de interface, ou NICs.



figura 1.25 parte do painel traseiro do mixer digital Yamaha modelo PM5D com os 4 slots para NICs
cortesia Yamaha Com o passar do tempo a Yamaha foi desenvolvendo diferentes NICs. Um para cada aplicação.

Como estamos falando de sistemas ASE, muitos desses NICs são interfaces para os diversos protocolos disponibilizados por fabricantes diferentes.

Mesmo com mais preferência para uns do que outros, há sempre quem tenha mais

familiaridade com este ou com aquele protocolo, ou que tenha prosseguir com um deles, em razão do mesmo ter sido selecionado no passado, quando as opções não eram tantas.

A figura 1.26 mostra alguns poucos dos cartões disponibilizados pela Yamaha, os quais podem ser inseridos diretamente nos slots como os da figura 1.25.

Convém informar ao caro leitor que logo adiante estaremos discutindo os principais protocolos desenvolvidos para sistemas ASE por vários fabricantes.



figura 1.26 NICs disponibilizados pela Yamaha para o mixer PM5D e para o mixer Rivage PM10 (cartão número 6 na figura) cortesia Yamaha Na figura 1.26 o NIC número 1 foi desenvolvido para uso com o protocolo pioneiro e mais antigo de todos, o CobraNet. Por sinal, a foto mostra um NIC já com algum aperfeiçoamento, pois a rigor ele é para o protocolo CobraNet II. Esse NIC tem capacidade para 16 canais I/O.

O NIC número 2 é próprio para redes Ethernet com protocolo Ethersound, da Digigram. Resolução de 24 bits, capacidade de 16 canais de entrada e 16 canais de saída usados simultaneamente, com expansão para 64 canais de entrada e 64 canais de saída. Esse NIC já vem equipado com conectores EtherCOM para cabos categoria 5 e 5e.

O NIC número 3 é para uso com o protocolo Pro64 A-NET proprietário da Aviom. São 16 canais de entrada e 16 canais de saída usados simultaneamente com taxas de amostragem variáveis, de 44,1 kHz/48 kHz, ou 88,2 kHz / 96 kHz. Expansão prevista para até 64 canais de entrada e 64 canais de saída, operando simultaneamente. Esse NIC vem equipado com linque estéreo para cada par de canais para uso específico com os mixers pessoais do sistema Pro16 da Aviom. Para mais detalhes sobre isso sugiro consultar o site oficial da Aviom, o www.aviom.com

O NIC número 4 é próprio para o protocolo OPTOCORE, especialmente desenvolvido pela empresa Optocore GmbH de Munchen-Gräfelfing, Alemanha, com saídas óticas, para uso com cabos de fibra ótica. A capacidade é 16 canais de entrada e 16 canais de saída, com transmissão full duplex e possibilidade de expansão para até 64 canais de entrada e 64 canais de saída, usados simultaneamente, ou 32 canais de entrada e 32 canais de saída @ 96 kHz, também usados simultaneamente.

Os dois conectores óticos presentes no painel frontal YG2, denominados LINK 1 e LINK 2, são padrão LC-type, velocidade 1 Gbps a plena banda. Opcionalmente, a Optocore oferece a possibilidade de uso de conectores 1U OptoCon montados num painel externo. A vantagem disso é que esses conectores opcionais são adequados para trabalhos pesados em condições ambientais e mecânicas muito rigorosas. Incluindo-se a capacidade de lidar com vibrações mecânicas. Ou seja, tudo para missões críticas.

O NIC número 5 é para o protocolo RockNet300 da Riedel, com formato Ethersound. A resolução é 24 bits e a capacidade também é 16 canais de entrada e 16 canais de saída empregados simultaneamente. Para mais informações, favor visitar o site da Riedel, que é www.riedel.net/en-us

O último NIC, de número 6 na figura, é para o mais novo, atual e ultra na moda protocolo Dante, da Audinate. A resolução é 24 bits com possibilidade de seleção de latência entre 150µs, 1 ms e 5,0 ms. A interface possibilita conexões diretas com computadores tipo PC e Mac sem necessidade de qualquer hardware adicional. Este é o cartão Dante-MY16-AUD, com capacidade para 16 canais bidirecionais de áudio (8 @ 96 kHz) com redundância, para uso em redes Ethernet convencionais incluindo tecnologia Gigabit.

Até aqui usei como exemplo um dos mixers digitais da Yamaha já com alguns anos de estrada. Mas as novas gerações de mixers da própria Yamaha, bem como a de outros fabricantes, seguem essas mesmas linhas gerais.

Veja por exemplo o caso do novo mixer da Yamaha, o Rivage PM10. A figura 1.27 mostra uma parte do painel traseiro desse mixer, na qual estão os slots para as interfaces. Por sinal, o PM10 dispõe de 10 slots apenas para esse tipo de interface.



figura 1.27 vista parcial do painel traseiro do novo mixer Rivage PM10 da Yamaha, mostrando parte dos slots disponíveis para interfaces cortesia Yamaha Já a figura 1.28 mostra a mais nova geração de NICs para o mixer Rivage PM10. Esse NIC é o HY144-D, com capacidade de 144 canais de entrada e 144 canais de saída, usados simultaneamente sobre redes Ethernet @ 44,1 kHz, 48 kHz, 88,2 kHz ou 96 kHz com resolução de 32 bits. Os conectores nativos são EtherCON para cabos UTP categoria 5e ou superior.



figura 1.28 NIC Yamaha modelo HY144-D, desenhado para funcionar com o protocolo Dante no mixer digital Yamaha modelo PM10

cortesia Yamaha switches, hubs e outros Aquele que especifica os switches para as redes Ethernet de sistemas ASE deve levar em conta que esses dispositivos devem preencher no mínimo aos seguintes requisitos: 1 – recomendo o uso de switches com tecnologia 1 Gigabits 2 – os switches devem ser do gênero que não introduz bloqueios no layer 2

3 – os switches devem ter condições técnicas de desabilitar o recurso EEE (Energy Efficient Ethernet) bem como quaisquer outras facilidades de economia de energia 4 – os switches para redes Ethernet destinadas a sistemas ASE devem, necessariamente, ser do gênero gerenciáveis 5 – os switches devem suportar o método DSCP (DiffServ) Já vimos bem o que é a tecnologia Gigabits. O uso de switches de 100baseT é possível. Mas, em se tratando de transmissão simultânea de muitos canais de áudio, a tecnologia Gigabit oferece redes mais estáveis. Me vejo obrigado a informar que há switches tecnologia 1 Gigabit de preços muito

convidativos mas que, infelizmente, sofrem com a capacidade de enviar pacotes de dados. Portanto, pense em escolher switches que tenham capacidade de 1 Gbps x quantidade de portas x 2 (de modo a contemplar entradas e saídas).

Agora, vejamos melhor o que é não introduzir bloqueios no layer 2. Um switch tecnologia Gigabit que não bloqueia tem a capacidade de transferir informações @ 1 Gbps simultaneamente em todas as suas portas.

Com relação ao switch com recursos de economia de energia (switches verdes), há de fato uma redução de consumo energético quando o tráfego é reduzido. Outrossim, dependendo do produto pode haver uma certa demora no suprimento energético quando o tráfego aumenta de forma abrupta. O que é uma possibilidade certa. Costuma-se dizer que switches com recursos de economia de energia não são compatíveis com aplicações em tempo real. Essa incompatibilidade pode resultar em perda de sincronismo e mesmo interrupções de tráfego de dados.

Os switches gerenciáveis, também chamados de inteligentes, permitem que toda a rede seja ajustada e condicionada às reais necessidades de cada caso, num exemplo insofismável de flexibilidade e capacidade de adaptação a diferentes condições. Isso é especialmente verdadeiro se a rede Ethernet é destinada a sistemas ASE baseados em protocolo Dante.

Switches que suportam o método DSCP (DiffServ) QoS (Quality of Service) têm plena capacidade de priorizar transferência de dados específicos. Esses recursos também são configuráveis nos switches gerenciáveis. A título de exemplo. Numa rede Ethernet para uso com protocolo Dante, é possível dar prioridade absoluta ao sincronismo com o relógio do próprio Dante, para, então, priorizar os dados de áudio acima da priorização do tráfego de dados que ocorre num segundo plano.

Além de todos esses aspectos, antes de especificar um switch o projetista deve lembrar que o switch deve oferecer recursos de controle de pacotes, especialmente para grupos VLAN e o IGMP snooping. Este último recurso é um processo que, de forma muito abreviada, reduz significativamente o tráfego de dados na maioria das redes Ethernet. Por isso mesmo é um dos grandes aliados do projetista no sentido de se chegar a uma rede eficaz em todos os seus detalhes.

Outra característica que o projetista não pode perder o foco é o suporte dos switches a conexões com fibras óticas. O que pode ser um recurso para uso futuro. Especialmente quando a rede Ethernet deve ser ampliada envolvendo grandes distâncias adicionais.

Finalmente, quando se especifica uma certa quantidade de switches gerenciáveis para a mesma rede Ethernet, é recomendável que se tenha produtos do mesmo fabricante e do mesmo modelo. Isso facilita muito o uso de switches redundantes em compasso de espera e, ainda,

facilita que após a configuração do primeiro switch se faça uma operação copy e paste para todos os demais.

cabos

Minha recomendação é usar cabos categoria 7, uma vez que a capacidade de blindagem de interferências dessa categoria é superior às categorias 6a, 6, 5e e 5.

Além disso, é fundamental que se utilize apenas os melhores cabos disponíveis no mercado da instalação. Isso significa dizer que só se pode usar cabos que atendam a todas as normas técnicas aplicáveis e que todas as suas especificações possam ser asseguradas como verdadeiras.

Além da categoria há um aspecto que temos que considerar quanto às especificações e seleção dos cabos.

Há cabos de rede feitos com condutores sólidos e outros feitos com uma trança de condutores (corda) de pequeno diâmetro. Neste último caso o diâmetro desejado do condutor é dado pela soma de todas as seções transversais de todos os condutores da trança. Assim, do ponto de vista de seção transversal dos condutores há plena equivalência entre as duas alternativas de cabos.

A figura 1.29 ilustra os dois tipos de cabos UTP.

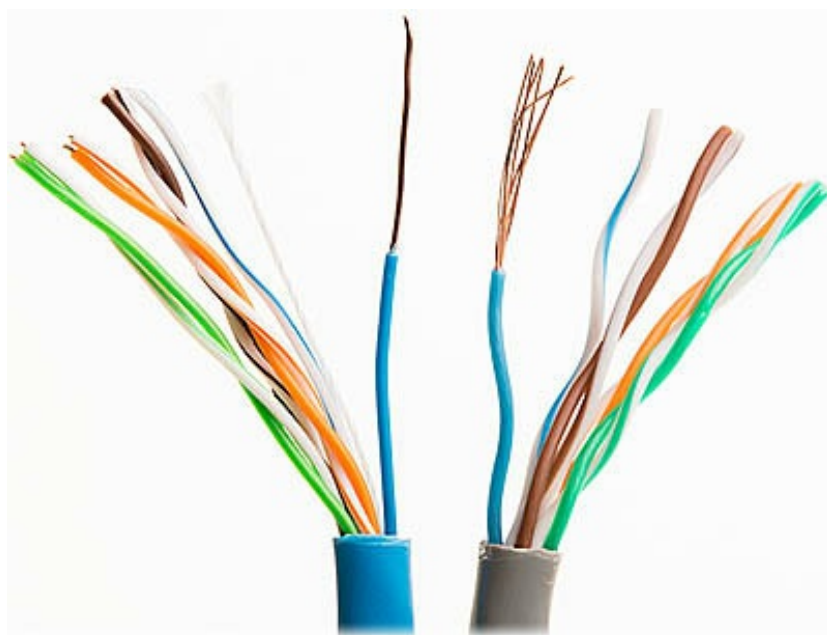


figura 1.29 cabo UTP com condutores sólidos à esquerda e com condutores trançados à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O que ocorre é que os cabos com condutores sólidos são detentores de melhores marcas de transmissão de informações, especialmente quando as distâncias envolvidas não são desprezíveis.

Em razão do exposto, minha recomendação é de evitar especificar cabos com condutores trançados, e dar preferência sempre aos cabos de rede com condutores sólidos. É certo que eles são um pouco mais difíceis de lançar do que os cabos com condutores trançados. Mas, superada essa dificuldade inicial, a instalação contará com os benefícios de melhor transmissão para toda sua vida útil.

Há ainda outro aspecto que merece muita atenção, sobretudo em locais sujeitos a muitas interferências eletromagnéticas. Que é a capacidade de blindagem do cabo. Portanto, prefira sempre os cabos SFTP aos STP e estes aos UTP. Essa preferência torna-se obrigatória na medida em que campos interferentes presentes possam representar quaisquer dificuldades. Lembro que cabos SFTP e STP devem ligados para terra, o que requer conectores com essa facilidade.

conectores

Já mencionei anteriormente que os conectores são um dos principais pontos fracos de quaisquer sistemas de som. Sujeitos à ação do tempo, que tende a introduzir filmes de materiais óxidos sobre as superfícies metálicas dos contatos e terminações elétricas, além de corrosões galvânicas e as produzidas por ação de agentes contaminantes presentes em nossa atmosfera, é fundamental especificar e usar apenas e tão somente conectores de boa lavra e de procedência assegurada.

Chego ao ponto de dizer que, para conectores, o melhor é ter em mãos os respectivos certificados de qualidade de origem.

O que significa que, em princípio é proibido adquirir conectores de redes Ethernet em locais que não os identifiquem de forma devida e, principalmente, que não os garanta. A questão da garantia é essencial para esses conectores.

Jamais caia na tentação de partir para opções mais baratas logo aqui. Ao contrário disso, recomendo que não se faça economia com esses acessórios. Procure marcas de primeira linha como Neutrik e Amphenol, entre muitas outras. Jamais pense em correr risco aqui. Simplesmente não vale a pena.

organização

O projetista da rede Ethernet deve se preocupar com a organização da própria rede.

Um bom começo é ter certeza que toda a infraestrutura por onde caminharão cabos de cobre e/ou fibras óticas estão disponíveis de acordo com o projeto.

Também é muito importante assegurar que todos os equipamentos, tais como switches, roteadores, conversores de mídia e outros fiquem bem acomodados em racks ou gabinetes, tendo-se observado regras como gerência de cabos e gerência térmica.

Como a vida útil de todos os equipamentos depende da temperatura média do ambiente no qual eles trabalham, é preciso decidir da conveniência de manter esses itens em locais resguardados com condicionamento de ar, com controle de temperatura e da umidade relativa do ar. Essa é, sem dúvida, a condição ideal de operação.

Até porque toda a indústria que atende ao setor de tecnologia da informação pressupõe que todos os produtos irão trabalhar em locais com condicionamento de ar em regime permanente.

Em alguns casos, como diante da possibilidade de montagem de equipamentos em armários remotos instalados ao tempo, como na figura 1.16, a possibilidade de contar com condicionamento de ar simplesmente não é possível. Isso obriga o projetista a ter que levar uma outra especificação do equipamento, mais precisamente a faixa de temperatura na qual o produto pode trabalhar.

Citando um exemplo prático. A ficha técnica do switch Cisco modelo Catalyst 4510R+E informa que o produto pode trabalhar na faixa de temperatura que vai de 0 a 40°C e na faixa de umidade relativa do ar que vai de 10 a 90% sem condensação. Ora, em muitas de nossas cidades a temperatura no verão se aproxima, ou até ultrapassa, os 40°C. Ora, se um desses aparelhos for instalado num armário metálico externo totalmente fechado, sujeito à ação direta dos raios do sol, é praticamente certo que a temperatura no interior do armário ultrapasse o limite operacional especificado pelo fabricante. O que, sem nenhuma dúvida, pode comprometer todo funcionamento da rede Ethernet. Uma consulta rápida a valores registrados de temperatura mostra que no dia 13 de outubro de 2014 na cidade do Rio de Janeiro, portanto com antecedência de dois meses em relação à chegada do verão, a temperatura atingiu a marca de 41,6°C na Vila Militar, zona oeste da cidade.

Essa é uma situação inaceitável e que conspira contra a confiabilidade da rede. Uma das alternativas para essa situação é pensar na instalação de um pequeno sistema de condicionamento de ar, cuja operação terá que ser monitorada remotamente contra eventuais falhas. Situação esta que também deve ser levada em conta. Outra alternativa é substituir o armário metálico por uma cabine metálica externa como a da figura 1.30, que deve estar equipada com condicionamento de ar.



figura 1.30 cabine metálica para uso externo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O projetista também deve prever que toda rede Ethernet precisa contar com o suporte permanente de serviços de manutenção preventiva e corretiva, com SLA(Service Level Agreement) conhecido e praticável e aceitável tanto para o mantenedor quanto para o usuário.

1.20.4 Princípios de Configuração de Redes Ethernet Para efeito deste trabalho nosso interesse na configuração das redes Ethernet é relativamente reduzido neste momento.

Outrossim, há alguns pontos básicos ligados com a configuração das redes que podem ser considerados importantes para a operação de todo o sistema. Por essa razão vou alinhar sinteticamente esses aspectos.

1.20.4.1 QoS

Considera-se muito importante que os switches sejam configurados com relação ao QoS, com priorização do relógio de sincronismo. Para que não se perca muito tempo com os correspondentes detalhes mas, ainda oferecendo a possibilidade de análise mais profunda desse aspecto específico, é possível consultar o site da Audinate, que desenvolveu o protocolo Dante, onde são encontrados dados detalhados a respeito. O site é <http://dev.audinate.com/kb/webhelp/content/>

1.20.4.2 IGPM snooping Outro fator importante da configuração é habilitar a função IGPM snooping. O que é particularmente verdadeiro quando se trabalha no modo multicast. Que, por sinal, deve ser limitado o quanto for possível.

1.20.4.3 copy & paste Após ter sido feita a configuração completa do primeiro switch, é sempre possível lançar mão da função copy & paste para espelhar a mesma configuração para todos os demais switches, incluindo os redundantes.

1.20.5 Informações Adicionais sobre ASE

1.20.5.1 Definição Uma das definições mais clássicas de ASE – Áudio Sobre Ethernet (Networked Audio) abrange qualquer forma de tecnologia desenvolvida para implementar de maneira muito fácil o transporte bidirecional de áudio digital PCM (Pulse Code Modulation) categoria lossless, multicanais, com sincronismo, de natureza determinística, com latência reduzida, sobre redes padrão Ethernet, comutadas.

1.20.5.2 Mercado e Protocolos Abertos e Fechados Esse nicho de mercado foi se mostrando aos poucos, à medida que ideias isoladas e implementações customizadas progrediam. A digitalização de caráter muito abrangente que atropelou o áudio profissional analógico e o uso prático e real das redes Ethernet portando sinais digitais de áudio, e outros, inicialmente de forma ainda embrionária, foram o esteio que disparou o interesse de muitas organizações que avaliaram no que viam um segmento de mercado com tremendo potencial futuro.

Estavam decretadas o início da temporada de investimentos e a largada para as pesquisas que pudessem ampliar as bases técnicas necessárias para o desenvolvimento do ASE.

Consultando meus alfarrábios vi que os primeiros esforços mais sérios para interligar

equipamentos de áudio, tanto os profissionais quanto os de consumo, começaram no final dos anos 70. Graças aos esforços combinados da AES – a nossa querida Audio Engineering Society e do EBU – European Broadcasting Union, as dificuldades foram superadas e assim nasceu o protocolo conhecido como AES3, anteriormente chamado de protocolo AES/EBU.

AES/EBU

Este protocolo foi desenvolvido para permitir o intercâmbio de sinais digitais de áudio entre equipamentos profissionais de áudio e, se possível, de quebra também de equipamentos de áudio de consumo. Neste protocolo, um sinal tem o significado de dois canais de áudio, ambos digitais com formato PCM. O transporte pode ser feito sobre cabos convencionais de áudio, constituindo linhas balanceadas ou não balanceadas, com possibilidade de uso de fibras óticas.

No primeiro caso os conectores são XLR de 3 contatos. No segundo são utilizados conectores RCA. No caso de fibra ótica o conector previsto é FO5/TOSLink macho e fêmea.

O protocolo foi padronizado pela própria AES como AES3. O que ocorreu em 1985. Posteriormente houve revisões em 1992 e em 2003.

S/PDIF

S/PDIF é acrônimo para Sony/Philips Digital Interface Format.

Trata-se da versão AES/EBU voltada exclusivamente para equipamentos de áudio de consumo.

Os detalhes deste protocolo constam do documento IEC 60958-3 de 2006.

Um dos conectores que este protocolo especifica é o RCA. Os cabos utilizados têm impedância variando entre 25 e 100Ω. Como resultado, a transmissão de sinais digitais é sofrível, limitando as distâncias entre equipamentos a pouco mais que 10,0 metros, desde que as características do cabo empregado sejam excelentes.

Outro conector possível é o TOSLINK, cujo nome é devido ao fato do mesmo ter sido desenvolvido pela Toshiba e inicialmente chamado de Toshiba Link. A correspondente padronização é a JIS C5974-1993 FO5. Por isso o apelido do conector é JIS FO5. Embora esta seja uma conexão feita com fibra ótica, a atenuação do sinal ótico (luz visível produzida por LED vermelho) é muito acentuada. Como resultado, a distância operacional é de apenas poucos metros e nada mais.

MADI (AES10)

O termo MADI é acrônimo para Multi Channel Audio Digital Interface. Desenvolvido sob os auspícios da Sony, da Mitsubishi, da SSI e da Neve, esse protocolo foi posteriormente padronizado pela AES – Audio Engineering Society como AES10-1991 com atualizações

AES10-2003 e AES10-2008.

Este não é um protocolo ASE. Mas foi uma tentativa de transmitir dados em formato digital sobre cabos e sobre fibras óticas.

O protocolo prevê a transmissão de até 56 canais de áudio com resolução de até 24 bits, taxas de amostragem 44,1 ou 48 kHz, sobre cabo coaxial de 75 Ω (vídeo) e possibilidade de transmissões sobre cabos de fibra ótica. Na atualização de 2003 houve um aumento na quantidade de canais para até 64.

O comprimento máximo do cabo é 50,0 metros, com níveis de voltagem de até 600 mV_{p-p}. No caso de fibra ótica a distância pode chegar a 2,0 quilômetros com fibras com comprimento de onda de 1300nm.

A estrutura de dados na interface MADI vem na forma de quadros (frames) e subquadros (subframes), sendo que o quadro é formado por 56 subquadros. Cada subquadro contém todas as informações de um só canal, incluindo áudio, informações de status e demais dados.

As empresas que produziram interfaces MADI: 4HM, Allen & Heath, AMS Neve, Avid Technology, [Bel Digital Group](#), [Calrec Audio](#), [Cobalt Digital](#), [Crystal Vision](#), [Deubner Hoffmann Digital](#), [DiGiCo](#), [DirectOut](#), [Euphonix](#), [Evertz Technologies](#), [Fairlight](#), [Ferrofish](#), [Harrison Audio Consoles](#), [Harris Corp.](#), [Innovason](#), JoeCo, [Klotz Digital](#), [Lab X Technologies](#), [Link DGlink](#), [Lawo](#), [Lynx Studio Technology, Inc.](#), [Merging Technologies](#), [Miranda Technologies](#), [MOTU](#), [Mytek Digital](#), [Optocore](#), [PESA Switching Systems](#), [RME](#), [SADiE](#), [Sierra Video Systems](#), [Snell Company](#), [Solid State Logic](#), [Sonic Core](#), [Soundcraft](#), [Sound Performance Labs](#), [Stagetec](#), [Studer](#), [Sydec Audio Engineering](#) e [Yamaha Commercial Audio](#).

CobraNet

Eis que chega o primeiro protocolo exclusivamente voltado para ASE – Áudio Sobre Ethernet.

Uma vez que esse foi realmente o primeiro protocolo ASE, muitas das facilidades, recursos e padrões aqui utilizados foram a inspiração para outros protocolos que chegaram depois. Por isso mesmo vou me alongar um pouco mais no CobraNet, para deixar de mencionar essas mesmas facilidades, recursos e padrões aplicáveis aos demais protocolos.

O conceito CobraNet foi potencializado pela Peak Audio do Colorado em cooperação com a QSC Audio Products.

A ideia central por trás desse conceito foi combinar hardware com software e com protocolo de Ethernet visando transmitir sinais digitais de áudio PCM (Pulse Code Modulation) não comprimido, em configuração multicanal (inicialmente até 64 canais), com latência muito reduzida, sobre redes Ethernet padronizadas e bem convencionais.

Considerado o protocolo bem sucedido e pioneiro de ASE, o CobraNet foi desde o início

imaginado como solução para sistemas de médio e de grande porte, especialmente os que tivessem necessidade de portar vários canais diferentes de áudio simultaneamente para transmissões a grandes distâncias e/ou sistemas espalhados por muitos locais diferentes e relativamente distantes.

Os primeiros testes foram feitos em rede Ethernet de 10Mbps com topologia P2P.

O debut oficial do CobraNet ocorreu em 1997 num show havido no Super Bowl. Nessa época o CobraNet já mostrava que tinha vindo para ficar. Também ficou claro para os especialistas que havia muito campo e margem para evoluções.

A versão seguinte do CobraNet foi aperfeiçoada para trabalhar com redes Ethernet comutadas. Para tanto foi integrado ao sistema um dispositivo SNMP para monitorar e controlar o tráfego de dados.

SNMP é sigla de Simple Network Management Protocol. Portanto outro protocolo. O objetivo aqui é gerenciar dispositivos componentes das redes.

A empresa Cirrus Logic adquiriu os direitos do CobraNet diretamente da Peak Audio e, logo a seguir, desenvolveu uma nova versão de CobraNet cujo foco foi reduzir custos ao máximo e implementação muito inteligente de recursos.

Um desses foi o emprego de dispositivos DSPs (Digital Signal Processing) como parte integrante dos NICs. Essa providência possibilitou usar filtros digitais, efeitos praticamente sem limitações de quaisquer naturezas, controle seletivo de volumes, introdução seletiva de atrasos de sinais, complementações ou introduções de quaisquer tipos de crossovers com seus alinhamentos e ajustes de parâmetros para, então, e só então, encaminhar os sinais para as saídas CobraNet dos Nics que lá estavam para alimentar equipamentos remotos ou locais.

Tudo isso ajudou a despertar o mercado como um todo. A consequência foi a concessão de uma enorme quantidade de licenças de fabricação de produtos CobraNet para muitos fabricantes de equipamentos profissionais de áudio. Esse era, portanto, um protocolo aberto.

O CobraNet foi instalado em muitos milhares de sistemas em praticamente todos os cantos do planeta. Pessoalmente desenhei muitos sistemas ASE baseados no protocolo CobraNet.

Os fabricantes que logo obtiveram licença para produzir CobraNet: Ashly, Attero Tech, AudioScience, Biamp, BSS, Clear One, dbx, Digigram, DigiSpider, Dolby Labs, Lance Design, Peavey Media Matrix, Symetrix, Whirlwind e Yamaha.

Fora esses foram licenciados fabricantes de amplificadores, cujos produtos fariam parte de um seleto grupo de equipamentos prontos para instalações em sistemas ASE. Entre esses estavam: Crest Audio, Crown Audio, ElectroVoice, Lab Gruppen e QSC.

Também foram muitos os fabricantes de alto-falantes licenciados: EAW, JBL, QSC, Renkus-Heinz e outros.

Fabricantes de mixers que aderiram a essa corrente: D&R Electronics, Mackie, Midas, Soundcraft e Yamaha.

EtherSound

A Digigram conviveu muito tempo com CobraNet, já que foi uma das licenciadas de primeira hora. O que provavelmente familiarizou muito a empresa com conceitos, problemas e soluções de protocolos ASE.

Com base nessa experiência adquirida, a Digigram desenvolveu protocolo semelhante ao CobraNet, mas agora em duas versões, ambas de implementação muito fácil. Mais uma vez a ideia foi a transmissão de sinais digitais de áudio PCM multicanal, determinístico, sincronizado e de latência reduzida. As duas versões adequadas para trabalho em redes Ethernet comutadas convencionais.

Lançada em 2002, a primeira versão, a ES-100, é adequada para redes Ethernet 100 Mbps. São 64 canais de 24 bits com taxa de amostragem 48 kHz. Áudio e controle bidirecionais.

A segunda versão é a ES-Giga, própria para redes Ethernet 1 Gbps. Desta vez são 256 canais com resolução de 24 bits e taxa de amostragem 48 kHz. Também aqui áudio e controle bidirecionais.

Pessoalmente vejo duas desvantagens no protocolo Ethersound. A primeira é uma certa limitação de alternativas de redundância, o que de certa maneira restringe a confiabilidade. A segunda é a necessidade de conectividade pré configurada, o que subtrai flexibilidade dos sistemas ASE.

RockNet300

Este é o protocolo da Reidel para ASE. Além do protocolo em si a empresa oferece uma longa série de NICs, classificadas como interfaces de áudio, interfaces de mixers e interfaces de rede.

Entre as interfaces de áudio são contempladas as dedicadas a microfones e sinais com nível de linha, as exclusivas com saídas nível de linha, a digital I/O com 4 entradas e 4 saídas AES/EBU providas em conectores XLR, a digital com 8 saídas AES/EBU providas em conectores XLR, uma para MADI e uma genérica com 8 entradas digitais totalmente configuráveis para adaptação a algumas alternativas diferentes. Por exemplo, as taxas de amostragem podem ser configuradas para de 32 kHz a 192 kHz.

As interfaces para mixers contemplam máquinas da Soundcraft, da Studer e da Yamaha.

As interfaces para rede incluem um extensor de linha para ampliar a distância operacional de um cabo UTP de 100 para até 450 metros e dois conversores de mídia visando o uso de fibras óticas, com suporte para cabos monomodo e multimodo.

No caso das fibras monomodo o alcance típico é de 20 quilômetros.

Outro caso de protocolo aberto concebido para sistemas de locadoras e de instalação, para aplicações ao vivo. Por isso, o RockNet300 suporta até 160 canais de áudio digital com resolução de 24 bits e taxa de amostragem de 48 kHz sobre cabos categoria 5.

Em vista das aplicações imaginadas desde o início do desenvolvimento, a Riedel chegou a uma família de produtos cuja característica é operar em situações climáticas e mecânicas difíceis, especialmente o que é dedicado às locadoras. Por exemplo, os chassis de quase todas as interfaces são construídos em aço espesso, com propriedades de blindagem magnética. Já os conectores IEC são duplicados e equipados com travas. Os demais conectores possuem terminais revestidos em ouro.

Este é o sistema preferido pelo engenheiro de som Andrea Taglia, da equipe de Andrea Bocelli.

Apenas para constar, a Reidel também disponibiliza o RockNet100. Entretanto, este não é mais um protocolo exclusivo para uso em redes Ethernet, já que foi concebido para substituir cabos de microfone de palco para a cabine FOH. Neste caso, sem uso de Ethernet ou de quaisquer outras redes. Apenas cabos UTP.

Optocore

Outro protocolo aberto. Só que desta vez, um protocolo nativo para fibras óticas. Este produto vem com os benefícios de uma empresa que há mais de duas décadas vem se especializando em produtos especificamente voltados para fibras óticas.

Uma das características mais marcantes do Optocore é a latência incrivelmente reduzida, de apenas 41,6 μ s.

O suporte é extensível a muitos formatos, a exemplo de MADI, AES/EBU, várias interfaces analógicas encontradas no mercado, *etc.* A integração com produtos de terceiros também é uma das vantagens do Optocore que pode operar com cerca de 90% dos mixers digitais encontrados no mercado. Além de sinais de áudio, este protocolo suporta sinais de controle, sinais de vídeo e uma ampla possibilidade de sinais gerados por computadores.

Em redes Ethernet 1 Gbps o transporte pode contemplar 512 canais de áudio com taxa de amostragem de 48 kHz em cada direção!

Ponto forte do Optocore são as redundâncias do protocolo, que se estendem aos recursos de sincronismo, à fonte de alimentação, *etc.* Nessa mesma linha, a topologia Anel é outro fator que aumenta a confiabilidade deste protocolo. O controle do tráfego pode ser exercido a partir de qualquer ponto da rede, mediante utilização de software desenvolvido para essa finalidade.

Muito bem reputado no mercado profissional, esta têm sido a escolha de muitos estúdios de gravação classe profissional.

Acrônimo para Audio Video Bridging, este protocolo aberto foi concebido para se diferenciar dos demais em quatro aspectos: 1 – sincronismo rigorosamente preciso 2 – tráfego configurável para diversas alternativas de transmissão serial de dados 3 – controles selecionados 4 – identificação de componentes inativos da rede. Mais uma vez esse é um protocolo voltado para o uso em redes Ethernet.

Uma das características deste protocolo é o uso de switches tipo “smart” que, em princípio, podem processar todo o tráfego do ASE, incluindo sinais de controle, de vídeo e outros, sem afetar o tráfego normal da rede sem o ASE.

Ou seja, a ideia de partida foi integrar o AVB com redes Ethernet existentes de sorte que os gerentes de TI pudessem evidenciar as vantagens de não usar redes paralelas.

A latência é da ordem de 2 milissegundos quando são utilizados sete switches em redes Ethernet 100baseT. Em redes Ethernet 1 Gbps a latência é reduzida para cerca de 1 milissegundo.

O protocolo AVB exige switches próprios, equipados com CPU adicional para processamento de tráfego, funções de sincronismo e requisitos de confiabilidade.

A Biamp Systems disponibiliza um documento denominado AVB resource guide que contém informações bem detalhadas e completas sobre AVB.

O mercado estava propenso a aceitar integralmente o AVB, mas eis que surge o Dante da Audinate e cria uma grande convergência de interesses do mercado, polarizando as atenções de todos para o que acabou se constituindo numa verdadeira corrida.

Dante by Audinate

Mais um protocolo aberto combinando software, hardware e protocolos de redes Ethernet para transportar sinais digitais de áudio multicanal, sem compressão digital, com baixa latência sobre redes LAN convencionais.

Trata-se de um desenvolvimento de 2006 da Audinate, de Sydney, Austrália, com vantagens em relação protocolos anteriores, como CobraNet e Ethersound.

Entre essas vantagens estão a possibilidade de uso de switches convencionais, suporte nativo a redes Ethernet 1Gbps, configuração automática, latência muito reduzida e capacidade de canais superior a quaisquer outros protocolos.

O mercado alvo da Audinate é o profissional, voltado para necessidades de muitos canais de áudio para transmissão simultânea a distâncias relativamente grandes. O protocolo Dante suporta o transporte de 512 canais de áudio bidirecionais.

Aclamada como a mais nova geração de protocolos ASE, a Audinate já licenciou mais de 200 empresas a utilizar esta tecnologia em seus produtos.

Uma autêntica corrida, caracterizando uma preferência marcante do mercado como um

todo. É a coqueluche do momento.

Alguns microfones usados em áudio profissional já incorporam Dante, como são os casos dos AudioTechnica ATND971 e ATND8677. Como este último é um stand para microfones, sem o transdutor, trata-se realmente da promessa de que qualquer microfone possa ser interligado ao sistema ASE usando protocolo Dante.

Essa particularidade tem facilitado muito o cabeamento de microfones que, assim converge para os cabos UTP reduzindo o investimento e tornando os sistemas profissionais cada vez mais livres do cabeamento analógico e da correspondente infraestrutura. Com isso, as redes Ethernet vão pouco a pouco se transformando na fórmula universal dos sistemas profissionais de áudio, cuja única exceção parece ser a das ligações entre amplificadores e caixas acústicas. Que por sua vez também tendem a se tornar mais e mais escassas em função da realidade das caixas acústicas ativas, cada vez mais presentes no mercado.

Quem tiver interesse em aprofundar conhecimentos no protocolo Dante encontrará farto material na Internet. Pessoalmente recomendo o documento “Networking Fundamentals for Dante”, que também é uma séria revisão dos conceitos das redes Ethernet. Esse documento, de leitura fácil, é oferecido gratuitamente aos todos os possíveis interessados no site da AudioTechnica www.audio-technica.com

1.20.6 Estudo de Casos 1.20.6.1 Presidência da República Este autor desenhou um sistema digital completo de mixagem automática para trabalhar com 34 microfones na mesa de pau ferro do Salão Oval da Presidência da República. A maioria das interligações entre equipamentos foi prevista no domínio digital, o que evitou a necessidade de usar conversores AD e DA.

Outro recurso interessante foi o uso de informação do canal ativado para habilitar certas funções, como a orientação espacial e configurações de câmeras de videoconferência.

A figura 1.31 ajuda a dar uma ideia desse sistema.



Figura 1.31 mesa com sistema de mixagem automática do Salão Oval da Presidência da República
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 1.20.6.2 Estádio Monumental de Lima, Peru Fiz duas matérias

para nossa querida Música e Tecnologia sobre este projeto. Na primeira delas apresentei o projeto completo, com o partido geral, as principais concepções técnicas, o dimensionamento eletroacústico desenvolvido com a ajuda do EASE da AFMG Berlin, com muitas ilustrações gráficas e fotos.

Um dos aspectos que ressaltei muito na ocasião foi como encaramos a questão de transmitir os sinais de áudio da cabine técnica para a sala dos racks contendo todos os amplificadores, envolvendo uma distância infraestrutural de aproximadamente 280 metros.

O que fiz foi estabelecer um caminho para a comunicação principal e mais duas rotas alternativas de redundância. Os três caminhos são totalmente diferentes.

A transmissão dos sinais em si foi feita através de fibras óticas, todas monomodo. O projeto foi feito de maneira que a ausência de sinal de entrada no receptor de fibra instalado nos racks da sala de equipamentos produza automaticamente a comutação para o segundo link de fibra. E na ausência de sinal nova comutação é feita para o terceiro link.

A figura 1.32 dá uma noção das caixas acústicas instaladas no estádio e a figura 1.33 mostra um aspecto da fibra ótica chegando na sala dos equipamentos.



Figura 1.32 vista parcial das caixas acústicas instaladas no Estadio Monumental em Lima, Peru acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na segunda matéria escrita para a revista Música e Tecnologia mostrei vários aspectos do sistema já instalado, bem como várias medições feitas durante a etapa de comissionamento do sistema para os clientes.

Também mostrei comparações entre os valores projetados e os obtidos na prática. Inclusive inteligibilidade em vários pontos da plateia e dos camarotes.



Figura 1.33 aspecto da chegada do link principal de fibra ótica na sala dos equipamentos no Estadio Monumental em Lima, Peru acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
1.20.6.3 Prédio Sede da Petrobrás, Rio de Janeiro Este foi um projeto de sonorização do prédio da Sede da Petrobrás no Rio Janeiro. Como esse é um sistema basicamente de segurança, ele atendeu a todos os pavimentos da edificação, além dos andares no subsolo.

A área de cada pavimento é consideravelmente ampla e a necessidade de pontos de som é elevada.

Isso me levou a optar por uma arquitetura baseada em ASE. Para esse particular projeto e, à luz das necessidades específicas que ele requeria, optei por usar processadores BSS equipados com NICs CobraNet. A filosofia de projeto foi tal que cada pavimento contava com

seu próprio processador com o respectivo NIC e seus próprios amplificadores.

Ao invés de se ter uma só cabine técnica, elas eram duas com possibilidade de expansão imediata da terceira. Cada uma delas deveria poder controlar o sistema em todas as suas funções.

A figura 1.34 mostra o diagrama de blocos unifilar simplificado de uma das cabines técnicas.

O traço mais cheio que se vê na parte direita superior do desenho representa a rede Ethernet apartada dimensionada para esse sistema.

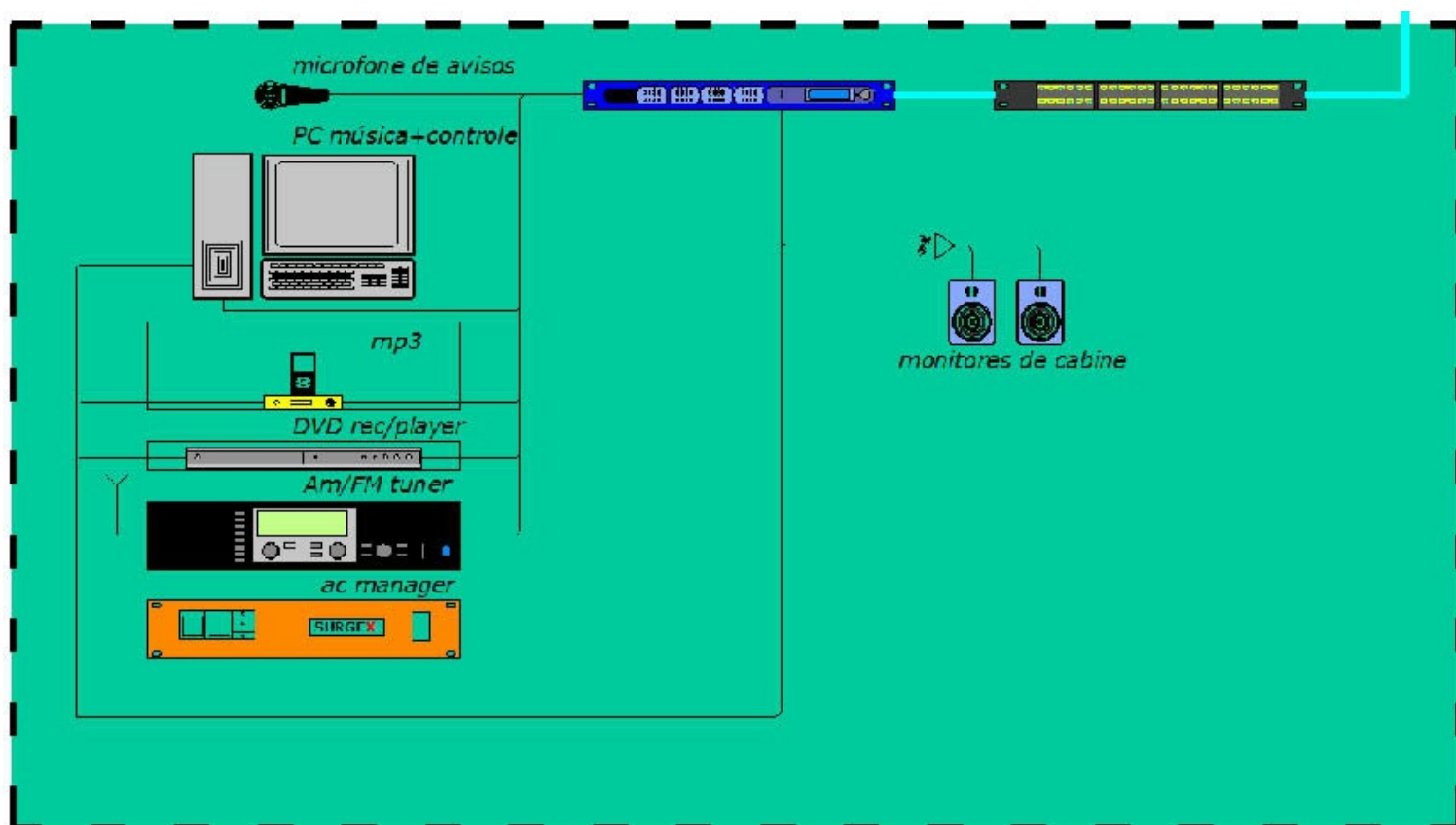


figura 1.34 diagrama de blocos de uma das cabines técnicas do sistema de sonorização da sede da Petrobrás, Rio de Janeiro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 1.35 mostra outro diagrama de blocos unifilar simplificado.

Agora para os pavimentos 19º ao 23º, notando-se que para cada pavimento foi contemplado com um switch, com um processador BSS Soundweb London, e com os amplificadores necessários, todos marca Crown, modelo CD1000. As várias linhas são todas de alta impedância/voltagem constante.

As quantidades dos alto-falantes estão indicadas no desenho para cada um dos setores (entre as linhas hachuradas de cor vermelha), bem com lá estão os totais individualizados para cada um dos pavimentos.

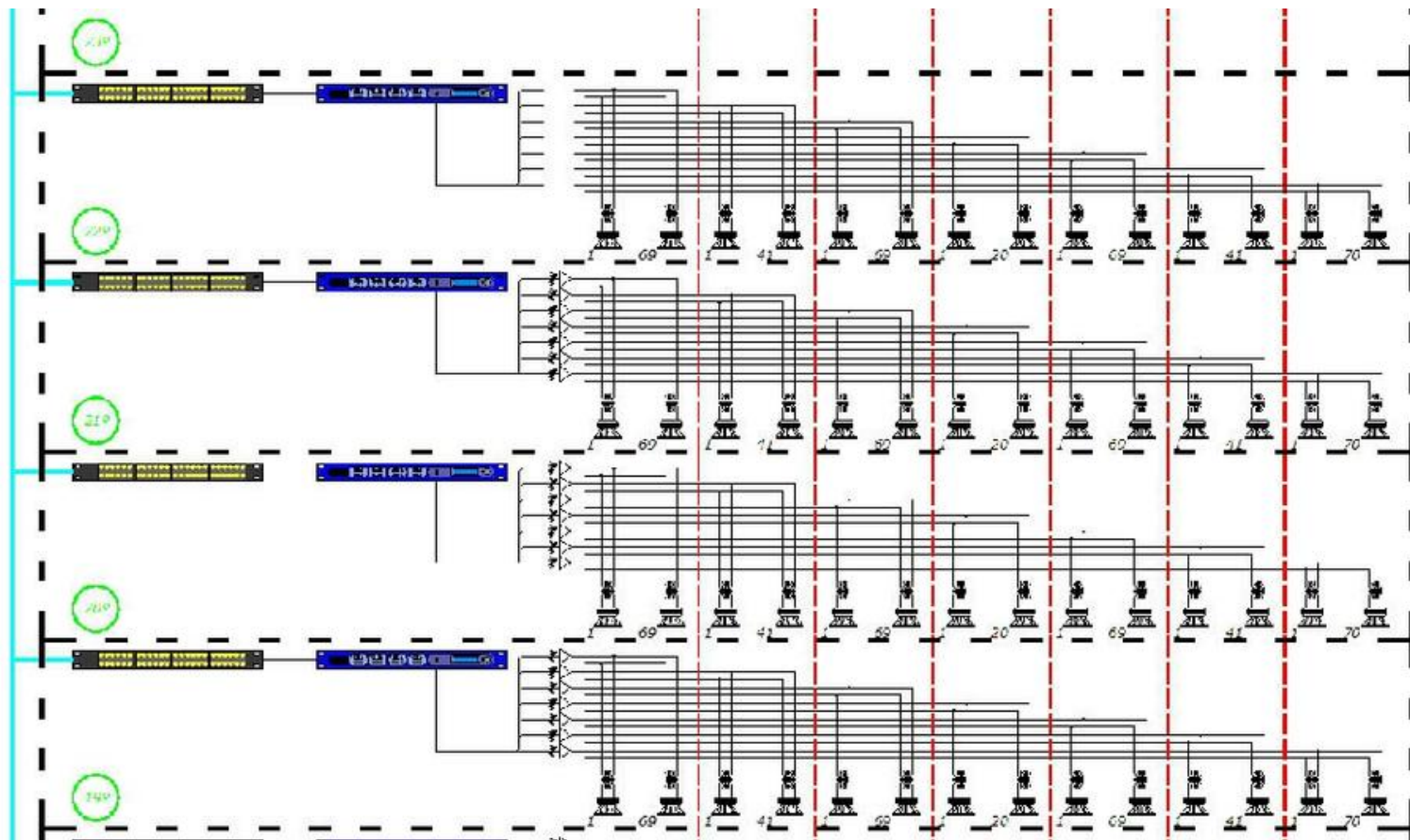


figura 1.35 diagrama de blocos parcial mostrando os equipamentos dos pavimentos 19º ao 23º da sede da Petrobrás, Rio de Janeiro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 1.36 mostra um rack byface típico, no caso o projetado para o 25º pavimento do prédio. Os racks foram projetados para instalação num cubículo técnico existente em todos os pavimentos.

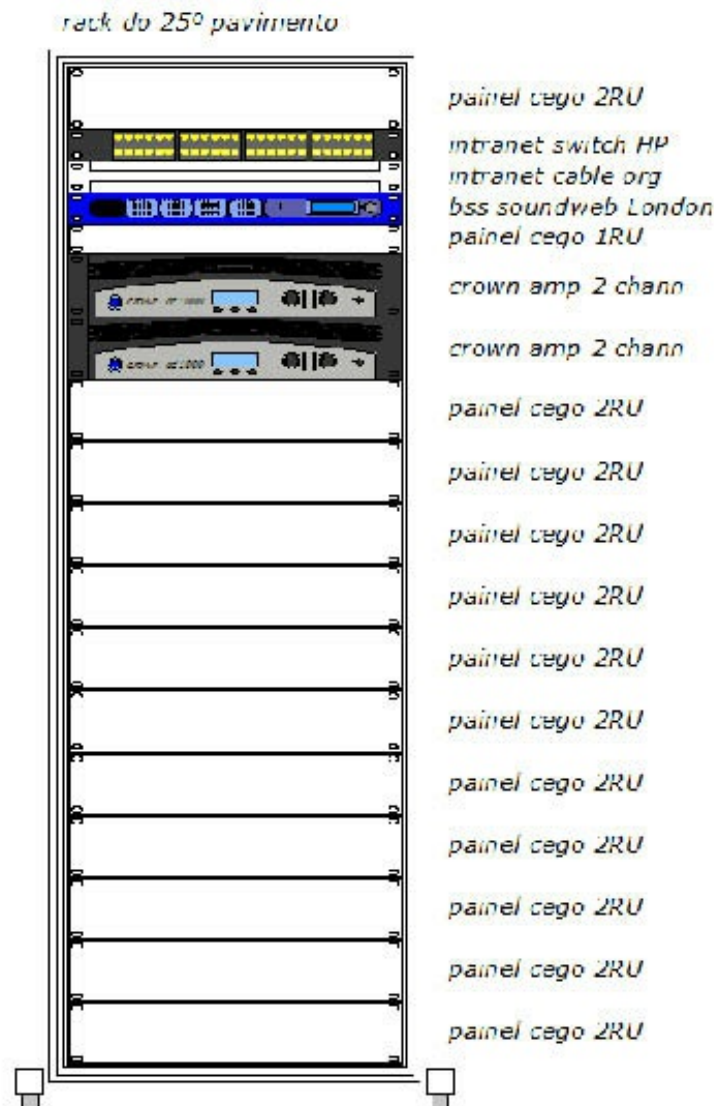


figura 1.36 rack byface do gabinete previsto para o 25º pavimento da sede da Petrobrás, Rio de Janeiro
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 1.20.6.4 IBN Várzea Grande, MT

O projeto feito para esta igreja começou há mais de dez anos. Por essa razão ele foi revisado algumas vezes. É essencialmente um sistema de reforço de som, com 3 pilhas de 8 caixas linearray cada pilha, mais subwoofers, além de 18 caixas satélite espalhadas no forro da igreja, abaixo de poltronas na plateia sem visibilidade direta com as caixas principais.



figura 1.37 rack de palco à esquerda e equipamentos recebendo os sinais na cabine FOH da Igreja
Batista Nacional do Cristo Rei, Várzea Grande, MT
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O projeto original previa um sistema de retorno de palco
clássico, com mandadas analógicas provenientes do mixer digital.

Numa das muitas revisões o subsistema de retorno de palco foi mantido.

Entretanto, além dele incluí um sistema in-ear assistido por um snake digital. Isto é, um sistema capaz de digitalizar os sinais analógicos provenientes dos microfones, multiplexá-los e enviá-los através de um cabo de rede UTP categoria 5 ou superior.

O equipamento que escolhi para essa tarefa foi o Roland família S-4000.

A parte esquerda da figura 1.37 mostra o rack de palco com equipamentos.

Veja que na parte superior estão os patchbays, cuja função é possibilitar o afunilamento de uma enorme quantidade de pontos de microfone instalados no palco, reduzindo-os para a capacidade do mixer.

Abaixo deles está o primeiro Roland S-4000-3208, comportando 32 entradas analógicas de microfones e 8 saídas analógicas, provenientes do mixer, para a formação dos mixes e endereçamento para os músicos em palco.

A propósito, o projeto especifica uma boa quantidade de mixers pessoais, também Roland, modelo M-48.

A parte direita da figura 1.37 mostra um dos racks da cabine FOH, justamente o que contém o Roland S-4000H.

Este é o aparelho que recebe os sinais dos 32 microfones encaminhados pelo equipamento de palco através de um único cabo UTP categoria 5.

Juntamente com ele foi instalado um Roland S-4000R que permite efetuar todos os controles remotamente.

Teoricamente esse item pode ser instalado ou no palco ou na cabine FOH.

Dei preferência à segunda opção, já que minha intenção era possibilitar controlar os volumes dos pré amplificadores das unidades S-4000S-3208 de forma remota, a partir da cabine FOH.

Note na foto da direita da figura 1.37 que o cabeamento do rack de palco é feito predominantemente com cabos de rede.

Detalhes disso na figura 1.38.



figura 1.38 detalhe de cabeamento interno de rack de palco da Igreja Batista Nacional do Cristo Rei, Várzea Grande, MT

Esta é uma expressão do Latim que significa “para essa finalidade”. Contudo, quando falamos de redes Ethernet sem fio “ad hoc” refere-se a um tipo de rede sem fio que não necessita ponto de acesso comum para a comunicação entre os componentes da rede. Assim, cada componente de uma rede ad hoc funciona como se fosse um roteador, enviando de maneira comunitária informações procedentes de componentes vizinhos.

Uma das maneiras de entender isso é pensando que dois computadores de uma rede com fio podem se comunicar através de um simples cabo crossover. Portanto, sem usar o switch. Da mesma forma, é possível configurar as NICs dos componentes para o modo ad hoc.

ADSL

Acrônimo para Assymetrical Digital Subscriber Line, ou Linha Digital Assimétrica de Assinante.

Forma muito comum de acesso à Internet.

Atualmente há duas versões dessa tecnologia. A ADSL e a ADSL2+. A diferença entre ambas é que está na taxa de dados de download. Cerca de até 8 Mbps na ADSL e mais de 24 Mbps na ADSL 2+, com cerca de 1 Mbps de upload em ambas.

anel

Topologia de rede Ethernet com fio na qual os componentes interligados constituem um elo fechado. Ou seja, cada um dos componentes é conectado na rede através de dois cabos, um interligando esse componente com o componente anterior e o segundo cabo promovendo a interligação com o componente posterior. Isso vale para todos os componentes da rede.

antena

Dispositivo eletricamente condutor projetado para transmitir ou para receber ondas de rádio.

Quando a antena converte potência elétrica em energia eletromagnética ela é chamada antena transmissora. Nesse caso sua função é irradiar energia na forma de ondas eletromagnéticas, que se propagam a partir da antena transmissora. Quando a antena converte energia eletromagnética em potência elétrica o dispositivo é chamado antena receptora.

Antenas são componentes essenciais para o funcionamento de radiocomunicação.

antena isotrópica

Ou radiador isotrópico. É uma entidade teórica que assume a forma de uma fonte pontual de energia, irradiando ondas eletromagnéticas com a mesma intensidade em todas as direções do espaço. Trata-se realmente de entidade teórica uma vez que prática não é possível obter um dispositivo capaz de irradiar energia de forma absolutamente uniforme em todas as direções.

backbone

A tradução literal do termo é espinha de peixe. O sentido é o do principal caminho da rede, através do qual se desenvolve a maior parte do tráfego de dados. Usualmente com velocidade mais elevada do que as demais vias que, do ponto de vista de estratégia de gerência de tráfego, não são tão importantes quanto o backbone.

banda ALS

ALS é acrônimo para Assistive Listening Systems. Banda de radiofrequência reservada para sistemas de ajuda a deficientes auditivos. Aplicações comuns são museus, salas de aula, auditórios, *etc.*

A alocação dessa banda varia muito de região para outra do planeta. Por exemplo, nos estados Unidos e na Inglaterra ela vai de 72 a 76 MHz. Nos países europeus a frequência típica é no entorno de 863 MHz. Na Austrália a banda ALS fica nos 150 MHz.

Mais recentemente o FCC norte-americano também abriu a faixa de 216 a 217 MHz par uso de ALS.

Há países em que a banda ALS fica contida no segmento que vai de 682 MHz a 698 MHz, que é a banda do canal 64.

bluetooth

Tecnologia muito específica de comunicação sem fio, criada em 1994 pela empresa sueca Ericsson.

A ideia de partida foi criar uma alternativa de muito baixo custo que possibilitasse a comunicação entre telefones celulares e seus acessórios sem a necessidade de uso de cabos.

O termo bluetooth foi escolhido porque o rei da Dinamarca e da Noruega, Harald Blatand (cuja tradução é Bluetooth) que durante seu reinado foi capaz de unificar as tribos dos países escandinavos.

booster

De modo geral, o booster é um dispositivo capaz de reforçar o nível de um sinal elétrico a fim de compensar a atenuação imposta pelos meios de transmissão. Que podem ser cabos físicos e conectores, mas também energia eletromagnética propagada por sistema de rádio.

No caso específico das comunicações sem fio, os boosters podem prestar serviços excelentes aumentando consideravelmente as áreas de cobertura. Particularmente em áreas rurais e em áreas urbanas abertas.

broadcast

1 - irradiar radiofrequência contendo informações de áudio e/ou de imagens de forma pública e aberta, como fazem as estações transmissoras de rádio (áudio) e de televisão (áudio e imagens) 2 – modo de transmissão de informações em redes Ethernet, quando um remente

encaminha informações para todos os componentes da rede, que podem, indistintamente, receber a informação enviada certificação

Declaração formal e documentada de que determinado hardware atende a regras e especificações que supostamente deveria. A certificação é feita por entidade para tanto designada por autoridades e/ou organismos de padronização com competência legal para isso, seguindo métodos e procedimentos especificados. As certificações decorrem de uma série de testes que são feitos para avaliar a aderência dos produtos às normas aplicáveis.

No caso das redes Ethernet é fundamental que todos os cabos, incluindo os de fibras óticas, sejam devidamente certificados para atendimento às normas TIA/ISO. Nos casos dos cabos os parâmetros mensurados incluem: comprimento físico, atenções para diversas frequências de toda a banda de frequência utilizada, paradiafonia, impedância complexa e resistividade.

cliente-servidor

Tipo de comunicação em redes na qual os componentes, denominados clientes, solicitam informações a uma estação de trabalho bastante poderosa, localizada num determinado nó, que lá está para atender às solicitações dos clientes. Usualmente os servidores estão equipados com bases de dados muito extensas.

código fonte

Código fonte é uma coleção de palavras e/ou de símbolos ordenados de forma lógica, os quais representam instruções em quaisquer das [linguagens de programação](#). Há linguagens que podem ser compiladas e outras que podem ser interpretadas.

As linguagens que podem ser compiladas transformam o código fonte em [software](#), na forma de programas executáveis. Tal coleção tem a arquitetura de linhas de comandos as quais devem obedecer os padrões da linguagem selecionada seguindo, ainda, todos os critérios de execução.

Em razão da grande diversificação das linguagens, os códigos fonte podem ser escritos de maneira bastante modular.

conversor de mídia



figura 1.39 vista geral de um conversor de mídia para uso em redes Ethernet acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Conversor de mídia é o hardware ativo que possibilita a conexão de um dispositivo próprio para ser ligado na rede Ethernet através de cabos de rede, mas com fibras óticas. Portanto, esse acessório converte sinais elétricos em sinais de luz e/ou vice-versa.

Veja um caso bem comum na figura 1.39. A saída do dispositivo que deve ser ligado na rede, por exemplo a saída de um switch, é ligada na entrada do conversor de mídia. Na figura, essa ligação é representada pelo cabo amarelo terminando num conector RJ45.

As saídas do conversor são então legadas diretamente nos links de fibra da rede. Estas ligações são representadas na figura com os cabos azuis.

Como os switches, os conversores de mídia podem ser gerenciáveis ou não gerenciáveis.

daisy chain

Topologia de rede Ethernet com fio na qual os componentes são interligados em série, desde o primeiro até o último. Entretanto, como o último e o primeiro não são interligados, não se forma um elo fechado. Ainda assim, exceto pelo primeiro e pelo último componente, todos os demais são conectados na rede através de dois cabos, um interligando o componente com o componente anterior e o segundo cabo promovendo a interligação com o componente posterior. Isso vale para todos os componentes da rede menos o primeiro e o último.

dBi

dB refere-se a decibels. O sufixo “i” indica que a referência é o ganho de uma antena isotrópica, considerado unitário. Logo, o ganho da antena isotrópica é 0 dBi. Se uma determinada antena tem ganho nominal de 15 dBi, seu ganho está 15 dB acima do ganho da antena isotrópica.

Em princípio, quando maior for o ganho da antena, mais direcional tendem a ser suas características de transmissão e/ou recepção.

domínio de broadcast Parte lógica de uma rede Ethernet na qual qualquer componente

pode se comunicar com outro componente sem necessidade de auxílio de um hub, switch ou roteador.

DSCP (DiffServ)

Acrônimo para Differentiated Services Code Point. Arquitetura que permite controlar o tráfego numa rede Ethernet através de classes, de forma que alguns tipos de informações tenham preferência sobre outras. Por exemplo, o tráfego de voz pode ter preferência sobre outras classes de tráfego.

A implementação prática do DSCP se faz mediante da introdução de um campo de 6 bits junto com o pacote de informações a transmitir. Esses bits são utilizados para classificar as informações.

Considera-se que a maior vantagem que essa técnica proporciona é a redução significativa da latência na comunicação.

DWDM

Acrônimo para Dense Wavelength Division Multiplexing. Tecnologia que multiplexa uma certa quantidade de sinais com diferentes portadoras, cada qual com seu próprio comprimento de onda, numa única fibra ótica. Neste caso, ter diferentes comprimentos de onda é ter diferentes cores de luzes laser.

A técnica DWDM possibilita comunicações bidirecionais.

O transmissor emprega um multiplexador para combinar os sinais e, na extremidade oposta o receptor é assistido por um demultiplexador que separa os sinais originais.

Hardware moderno pode multiplexar até 160 canais e ampliar a banda de 10Gbps para 1,6Tbps.

A tecnologia DWDM é muito apreciada por sua habilidade intrínseca de ampliar a capacidade de canais de uma dada fibra sem necessidade de expansão das vias de fibras.

estrela

Topologia de rede Ethernet com fio na qual os componentes são interligados fisicamente lembrando bem o formato de uma estrela.

Assim, há um ponto central ao qual todos os componentes da rede são interligados.

A maior vantagem da topologia estrela é a facilidade de localizar e de isolar uma eventual falha na rede, além dessa falha, se não estiver ocorrendo no ponto central, não afetar o resto da rede.

A desvantagem da topologia estrela é que se a falha ocorrer no ponto central, então toda a rede ficará comprometida.

A topologia estrela é indicada para redes Ethernet que usam um par de condutores

trançados.

extensor

O padrão IEEE802.3 estabelece claramente que o cabeamento físico usando cabos de rede fique limitado a 100 metros em redes Ethernet padrão. Quando é preciso transportar informações sobre lances mais longos do que os 100 metros, a saída usual é usar fibra ótica.

Uma alternativa simples e barata pode ser empregar extensores como o da figura 1.40.



figura 1.40 extensor geral de um conversor de média para uso em redes Ethernet acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne fibra ótica monomodo Tipo de fibra ótica projetado para que a onda de luz caminhe apenas na direção da fibra, condição essa conhecida como modo transverso. Embora os raios de luz viajem paralelamente ao eixo do cabo ótico, as vibrações ocorrem em sentido perpendicular em relação ao eixo do cabo. Ou seja, em direção transversa.

Dessa maneira, mesmo ondas com diferentes comprimentos de onda caminham do mesmo “modo” no interior da fibra. O que gera um raio de luz progredindo no sentido do cabo ótico.

Construtivamente, as fibras monomodo são feitas com diâmetros muito reduzidos. Tipicamente entre 8 e 10,5 micra. O resultado de tudo isso é que as fibras monomodo introduzem perdas insignificantes nos pulsos de luz, o que as recomenda para aplicações em grandes distâncias.

Fibras óticas monomodo com taxas de 10 a 40 Gbps podem transportar sinais sobre dezenas de quilômetros sem perdas apreciáveis. Auxiliadas por amplificadores óticos as distâncias podem atingir dezenas e dezenas de quilômetros.

fibra ótica multimodo Tipo de fibra ótica com diâmetro relativamente grande em comparação com as fibras monomodo. Usualmente de 50 a 100 micra. Isso facilita muito toda a conectorização e reduz sensivelmente os custos de todos equipamentos associados. Por exemplo, com as fibras multimodo é possível empregar diodos LED como fonte de luz e VCSELs (vertical cavity surface emitting lasers). Estes trabalham com comprimentos de onda de 850nm e 1300 nm.

As aplicações das fibras óticas multimodo são indicadas principalmente quando as distâncias envolvidas são relativamente pequenas, como regra geral até 600 metros com taxas de 10 Mbps a 10 Gbps. Isso é o suficiente para a grande maioria dos casos.

firmware

Software leve, usualmente na forma de um grupo de instruções operacionais, gravado diretamente em memórias tipo ROM.

É sempre fornecido pelo fabricante do produto que o utiliza.

full duplex

Forma de comunicação entre dois pontos, na qual cada ponto tem capacidade de transmitir e de receber informações simultaneamente. Ou seja, um ponto está habilitado a transmitir e a receber informações ao mesmo tempo.

gateway

Tipicamente uma combinação de hardware com software combinados para possibilitar que itens diferentes sejam ligados numa rede, como a rede Ethernet.

Entretanto, os gateways também podem ser implementados apenas como hardware e, também, apenas como software.

Por isso mesmo os gateways devem gerenciar domínios de colisão e traduzir protocolos. Com essa capacidade, os gateways permitem a comunicação de componentes de redes distintas com arquiteturas diferentes.

GPI (cabo)



figura 1.41 cabo GPIO típico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Cabos GPI são conhecidos no Brasil como cabo fita. Em algumas aplicações esses cabos são utilizados para portar informações de controle.

Atualmente já há conversores que recebem os sinais dos cabos GPI e os entregam num conector de saída RS232.

A figura 1.42 mostra um desses conversores, com vista do painel frontal na parte superior e do painel traseiro na parte inferior da figura.



figura 1.42 conversor GPI para RS232
cortesia Burst Electronics half duplex

Forma de comunicação entre dois pontos, na qual cada ponto tem capacidade de transmitir e de receber informações, mas não simultaneamente. Ou seja, quando um ponto está transmitindo informações ele não pode receber informações.

host

Numa rede LAN ou Ethernet, chama-se host a qualquer computador ou outro dispositivo interligado nessa rede. Um host pode servir como um supridor de informações, ou de serviço, além de oferecer informações para usuários ou outros nós da rede. Por isso mesmo um host também é um nó da rede, ao qual é destinada uma camada da rede com os endereços dos hosts.

hot standby

Condição técnica de um item redundante, que o habilita operar imediatamente após ter sido constatada uma falha no equipamento principal, o qual será imediatamente substituído pelo equipamento redundante.

Exemplo disso são as redundâncias das fontes de energia não interruptíveis, nas quais sequer notamos a entrada da parte redundante no caso de falha de energia.

hub

Dispositivo capaz de interligar computadores numa rede local. Há hubs com várias quantidades de portas, como 8, 16, 24 ou 32.

Quando as informações chegam por uma porta, elas são copiadas para todas as demais portas.

ICMP

Acrônimo para Internet Control Message Protocol.

IEEE (a pronúncia é I triple E) Institute of Electrical and electronics Engineers.

A maior associação profissional em todo o mundo, voltada para o progresso da tecnologia, comprometida com o desenvolvimento das inovações destinadas a incrementar benefícios e padrão de vida para os seres humanos. Fundada em 1963, a entidade não tem fins lucrativos.

Possui e estimula várias atividades, como a publicação de jornais, a geração de normas e padrões de qualidade, organizando conferência e eventos e promovendo publicações técnicas em geral.

IGPM snooping

Processo de monitoração do tráfego IGPM (Internet Group Management Protocol) que flui pela rede. Essa atividade possibilita que um switch acompanhe a comunicação entre hosts e roteadores. Dessa maneira o switch conserva um mapa completo de toda a comunicação em curso pela rede cujos linques requerem fluxo de multicast IP. O que, por sua vez, permite que as atividades multicast sejam filtradas dos linques que não as requerem. Essa é uma das formas inteligentes de controlar que portas deve receber tráfego multicast específico.

infrastruture WLAN

Este é um dos dois métodos para integrar dispositivos como laptops, pads, iPhones e outros a redes sem fio. Todas essas conexões são assistidas por pontos de acesso (Access Point – AP). Usualmente os pontos de acesso das redes wireless são switches ou roteadores, interligados através de portas.

IP endereço

O endereço IP (Internet Protocol) é um rótulo numérico associado a cada dispositivo interligado na rede, como um computador, impressora ou outro, desde que essa rede se valha do protocolo Internet para a comunicação.

O endereço IP tem duas funções principais: 1 – identificar o host ou a interface da rede e, 2 – localizar um destinatário da comunicação.

Grosso modo pode-se dizer: o nome indica o que procurar e o endereço indica onde procurar, porquanto a rota mostra como chegar lá.

Os mentores da Internet definiram que o endereço IP deveria ser um número com 32 bits. Esse sistema foi denominado Internet Protocol Version 4 (IPv4) e ainda é usado atualmente. Entretanto, tal colmo ocorreu com as placas de nossos veículos e com os números de telefones, os 32 bits se mostraram insuficiente para a necessidade. Em 1995 uma nova versão de endereço IP, agora com 128 bits, se mostrou necessária. Esta é a Internet Protocol Version 6 (IPv6).

LAN

Acrônimo para Local Area Network.

A rigor, uma rede LAN é uma combinação de hardware e software cuja finalidade é possibilitar a comunicação entre computadores e equipamentos processadores que, então, podem trocar e compartilhar dados e informações em geral.

O termo “Local” tem sentido específico de indicar que a área de atuação da rede fica fisicamente condicionada a limites máximos da ordem de 1500 metros. Além desse limite a rede passa a ser chamada de MAN, acrônimo para Metropolitan Area Network.

latência

Tecnicamente é o tempo total de resposta de um sistema. Ou seja, o tempo decorrido entre o momento em que o estímulo é levado à entrada de um sistema e o momento que se tem um retorno do sistema a esse estímulo.

Há interpretações diferentes para esse termo dependendo do contexto em que ele é analisado.

Do ponto de vista de redes Ethernet, latência é tempo de trânsito de um pacote durante sua viagem entre dois pontos determinados. Entre outros, os fatores que determinam a latência são: propagação, características da transmissão e do meio físico envolvido (cabos, fibras, rádio, etc.), hubs/switches/roteadores e suas características operacionais, *etc.*

layer (camada)

Em 1984 a International Organization for Standardization – ISO, lançou um padrão de interconexão de sistemas abertos, o OSI, acrônimo para Open Systems Interconnection. O chamado modelo OSI divide o software em camadas (layers), de sorte que cabe a cada camada uma certa contribuição para a execução do software como um todo.

As camadas separam o código-fonte de maneira lógica e têm capacidade de gerar pacotes físicos. O que não implica necessariamente em separação física. Portanto, as camadas podem compartilhar CPUs, processos, *etc.*

lossless

Forma de compressão digital de dados que possibilita que os dados originais, antes da compressão, sejam integral e perfeitamente reconstruídos a partir dos dados comprimidos. Contrasta com a forma de compressão “lossy”, na qual os dados originais não podem ser integral e perfeitamente reconstruídos, mas apenas podem ser restaurados apenas de forma aproximada.

MAC endereço

MAC é acrônimo para Media Access Control. Endereço MAC é um endereço físico único associado à uma determinada NIC que possibilita a interligação de qualquer dispositivo à rede. Sua função é permitir o controle de acesso na rede.

MAN

Acrônimo para Metropolitan Area Network. Rede que interliga duas ou mais LANs, que estão geograficamente próximas, tipicamente não mais do que 30 ou 40 quilômetros. Sua

função é possibilitar que dois computadores distantes possam se comunicar, tipicamente em áreas maiores que as de uma LAN e menores que a de uma WAN.

meshing

Topologia de rede LAN na qual cada nó é interligado com todos os demais nós da rede. Por vezes se usa os termos meshing parcial e meshing total. No primeiro caso se faz referência a redes nas quais os nós não são interligados a todos os demais, mas a dois ou mais nós. Porquanto no segundo caso obrigatoriamente cada nó é efetivamente interligado a todos os demais.

É uma topologia inspirada em técnicas desenvolvidas em campo para a garantia de comunicações militares.

multicast

Modo de transmissão de informações em redes Ethernet, quando um remete encaminha informações para alguns componentes da rede, que podem, indistintamente, receber a informação enviada.

NIC

Acrônimo para network interface controller e, por vezes, para network interface card. Também chamado de adaptador de rede, de adaptador de LAN e até mesmo de placa de rede, é o recurso que possibilita a interligação do componente à rede.

Na prática, trata-se da circuitação eletrônica que permite a comunicação mediante uso de uma camada física e de padrões, como a Ethernet.

nó

Numa rede LAN ou Ethernet, um nó – o termo é de procedência latina – é um ponto de conexão, ou um ponto de redistribuição ou um ponto terminal da comunicação. A definição mais precisa de nó depende muito da rede em questão e do protocolo da camada envolvida. Um nó de uma rede física é um dispositivo eletrônico integrado à rede, devendo, nesse caso, ser capaz de criar, receber e transmitir informações através de um canal de comunicação. Portanto, um ponto passivo de distribuição ou painel patch não se enquadra na definição de nó.

OSI

Acrônimo para Open System Interconnection.

Conjunto de padrões referenciais que definem como os protocolos de comunicação são implementados em sete camadas (layers) diferentes.

Desse modo, o modelo OSI é um guia de referência para que todos saibam como se processam as comunicações digitais entre dois pontos quaisquer de uma rede.

P2P

Acrônimo para Peer-to-Peer.

Topologia de rede na qual a comunicação é feita ponto a ponto. Na qual cada componente tem os mesmos privilégios, recursos e responsabilidades.

Nesta topologia os servidores são desnecessários, de vez que os componentes se comunicam diretamente. Por essa razão, considera-se esta topologia uma alternativa para a fórmula cliente-servidor, já que cada nó se comporta tanto como cliente quanto como servidor.

PCM

Acrônimo para Pulse Code Modulation, ou modulação por código de pulsos em português.

Maneira de representar digitalmente amostras de informações analógicas, na qual as amplitudes dos sinais analógicos são amostradas a intervalos regulares, de sorte que cada amostra é “quantizada” para o próximo valor de uma coleção de passos digitais que lá estão para representar amplitudes analógicas.

Este é o padrão utilizado na telefonia digital, no áudio digital de computadores, nos CDs, *etc.*

PoE

Acrônimo para Power over Ethernet.

Tecnologia descrita no padrão IEEE 802.af. Trata-se da maneira que possibilita a transmissão de energia elétrica através de vias da Ethernet, juntamente com dados e outras informações.

Sua utilidade é muito grande, já que permite a operação simplificada de telefones IP, de pontos de acesso em redes sem fio, de switches remotos, de dispositivos embarcados, de câmeras de vídeo tipo IP e de tantos outros.

De certa forma esta tecnologia é semelhante a de telefones convencionais, que também recebem alimentação pela mesma linha telefônica utilizada para a comunicação de voz.

potência EIRP

EIRP é acrônimo para Equivalent Isotropically Radiated Power.

Termo do jargão dos sistemas de radiocomunicação. Trata-se da soma da potência elétrica de saída do transmissor, mais o ganho da antena, em comparação com o ganho de uma antena isotrópica.

protocolo

Termo do jargão das telecomunicações. Dá-se o nome protocolo a um sistema organizado de regras e de convenções, elaborado especificamente para possibilitar a comunicação e a troca de dados entre componentes de uma rede. Dessa maneira, cada mensagem tem um

significado único e preciso, de forma a suscitar respostas pré determinadas para cada particular situação.

QoS

Acrônimo para Quality of Service. Este termo descreve o desempenho global de uma rede, especialmente do ponto de vista dos usuários.

É uma entidade que pode ser facilmente mensurada, na qual entram vários aspectos relacionados com os serviços prestados pela rede, tais como taxas de erros, larguras de banda, latência, disponibilidade, *etc.*

rede apartada

Rede apartada é a rede Ethernet desenhada para possibilitar a interligação de determinados componentes, cuja principal característica é ser totalmente isolada da Ethernet principal da organização ou entidade que a utiliza.

Um exemplo claro disso é a Ethernet desenhada apenas atender a um sistema ASE numa grande empresa, sem que essa rede tenha alguma interconexão com a rede Ethernet principal da mesma organização.

rede Ethernet

Rede tipo LAN ou tipo MAN, que usa uma família determinada de tecnologias próprias. Em uso desde 1972, com largura de banda de 10Mbps, teve que esperar até 1983 quando ocorreu sua padronização (IEEE 802.3).

A família de tecnologias abrange uma longa sequência de padrões que definem totalmente como devem ser desenhadas as conexões lógicas entre os componentes da rede, possibilitando a comunicação half duplex e a comunicação full duplex.

rede global

No jargão das telecomunicações, rede global é aquela que abarca o planeta terra. A primeira rede global foi a da telegrafia em 1899. Depois, foi a rede telefônica internacional que chegou a esse status.

Atualmente temos a Internet, com estimativa de cerca de três bilhões de usuários, figura esta referenciada ao final de 2014.

redundância

O conceito de redundância numa rede Ethernet é possibilitar que haja rotas alternativas para a continuidade da comunicação caso haja qualquer problema com um cabo, conector ou elemento da rede. Mesmo um roteador ou switch.

Usualmente envolve dispor de componentes adicionais da rede, incluindo cabos e vias, que só são usados em casos de falhas. Esses itens adicionais tem a finalidade de funcionar como

elementos sobressalentes.

roteador (router)

Tecnicamente falando, um roteador é um gateway da camada (layer) 3. Os roteadores interligam duas ou mais redes e, portanto, se comportam como camada de rede prevista no modelo OSI.

Uma das funções principais de qualquer roteador é escolher os caminhos que os pacotes devem seguir pela rede.

RS232

Este é um padrão de comunicação serial para a transmissão de dados.

O padrão é muito empregado em portas seriais de computadores. Ele define precisamente as características temporais dos sinais e o significado dos sinais além do tamanho e pinagem dos conectores utilizados.

O padrão atual é o TIA-232-F, de 1997.

RS422

Também conhecido como TIA/EIA-422, este é um padrão de comunicação para a transmissão de dados sobre linhas balanceadas, que se constitui numa solução bastante adequada para longas distâncias e condições elétricas ruidosas.

A norma prevê que um único transmissor tenha capacidade de alimentar até dez receptores, sendo o meio físico dois pares trançados. Um é utilizado para a transmissão e outro para a recepção.

RS485

Também conhecido como TIA/EIA-485, este é um padrão de comunicação que descreve a interface que deve trabalhar em linhas diferenciais para o atendimento de até 32 “unidades de carga”. Que usualmente são transmissores e/ou receptores.

O meio físico mais comum do RS485 é o par trançado par a comunicação half duplex. Eventualmente também é possível utilizar dois pares trançados para a comunicação full duplex, condição que torna o RS485 totalmente compatível com o RS422.

SLA

Acrônimo para Service Level Agreement, ou Acordo de Nível de Serviço. Termo aplicável a um contrato entre fornecedor e cliente, no qual é especificado que serviços serão prestados e em que condições. A exemplo dos prazos de atendimento para chamados de emergência por parte do cliente, se existem estoques estratégicos de componentes redundantes, quem é o proprietário desses itens e quem os gerencia, entre outros.

spanning tree

Topologia de rede Ethernet concebida para evitar e, quando possível, eliminar problemas de elos na rede, ajudando a aumentar o desempenho geral.

Nessas redes se admite a inclusão de interligações redundantes entre os componentes de maneira a criar caminhos alternativos. Assim, no caso de falha de uma via há sempre a possibilidade do tráfego que cursaria pela via danificada ser redirecionado para outra via. Os switches empregados são sempre gerenciáveis e devem ter a capacidade de bloquear portas inseridas em elos e de permitir a passagem por essas mesmas portas no caso de falhas ocorridas na porta ativa do elo local. Nesse caso é possível e desejado que haja inúmeros elos na rede de sorte a proteger a confiabilidade da rede na área assim projetada.

SSTP

Cabo utilizado em redes Ethernet que, ao contrário do cabo UTP, é externamente blindado. Além disso, os cabos SSTP também possuem blindagem individual para cada par trançado. Todas as blindagens do cabo SSTP devem ser aterradas.

STP

Cabo utilizado em redes Ethernet que, ao contrário do cabo UTP, é externamente blindado. A blindagem do cabo STP deve ser aterrada.

switch

Dispositivo que permite a interligação dos componentes de uma rede Ethernet, através de suas portas. Portanto, o switch é um aparelho ativo.

Sua função é redirecionar dados enviados por um dos componentes da rede para outro ou outros mas, deixando os componentes que não correspondem a destinos da mensagem livres. Dessa maneira, o switch efetua uma comutação real entre a origem e o destino, ou destinos, da mensagem.

Os switches agem na camada (layer) 2 do modelo OSI.

token ring

Protocolo de Ethernet, no qual um pacote de dados sem sinais, que chamo de “template”, está sempre em curso pela rede, que tem topologia anel. Quando qualquer componente da rede tem informações a enviar, ele insere os correspondentes dados no template juntando também o endereço do destinatário. O template é verificado por todos os componentes da rede e o destinatário recebe os dados retirando-os do template. Que, a partir de então, fica “limpo”. Quando o template volta para o remetente, este examina as condições de confirmação para se certificar que todos os dados foram recebidos e libera o template para que o processo possa se repetir.

topologia

Topologia de rede é nome dado à arquitetura física da rede, que organiza como os diferentes componentes devem estar ordenados e estruturados. A topologia de uma rede pode ser dividida em topologia física e topologia lógica. A topologia física refere-se à localização geográfica dos componentes, incluindo os caminhamentos dos cabos, porquanto a topologia arquitetura física.

Redes com topologias idênticas podem apresentar diferentes características de distâncias entre componentes, de taxas de transmissão de dados, de tipos de sinal que trafegam e tantas outras.

TRILL

Acrônimo para Transparent Interconnection of Lots of Links.

É um protocolo padrão que usa técnicas de roteamento na camada (layer) 3 objetivando criar uma grande nuvem de linques de sorte que, do ponto de vista de nós IP, pareça ser uma simples subnet IP.

A técnica permite gerar nuvens muito grandes na camada (layer) 2, de sorte que a nuvem possa se mover com facilidade na camada (layer) sem alterar seu endereço.

As vantagens do protocolo padrão TRILL incluem a configuração muito fácil das redes Ethernet proporcionando, ainda, o benefício múltiplos das técnicas de roteamento na camada (layer) 3.

trunking

Técnica empregada em sistemas de comunicação e de transmissão de dados que permite que vários componentes da rede tenham acesso à rede pelo compartilhamento de linhas múltiplas ou de recursos relacionados com frequência.

Como o próprio nome sugere, esta técnica implica em que a rede tem formato aproximado de árvore, com tronco, ramificações e galhos.

Este recurso é utilizado principalmente em sistemas de telecomunicações nos quais são empregadas frequências de rádio na faixa de VHF.

unicast

Comunicação de rede comutada caracterizada pela transmissão de host para um único e específico destino.

UTP

Acrônimo para Unshielded Twisted Pair. Ou Cabo Trançado sem blindagem. Trata-se de um cabo consideravelmente barato, construído com quatro pares de condutores isolados e trançados, recobertos com jaqueta de PVC para proteção mecânica.

Usado extensivamente em redes Ethernet.

VLAN

Acrônimo para Virtual Local Area Network.

Rede local virtual, logicamente independente da arquitetura física da rede. Um switch pode conter várias VLANs, o que, quando ocorre, divide a rede física em duas ou mais redes virtuais, criando domínios de broadcast separados.

WAN (Wide Area Network) Acrônimo para Wide Area Network.

O termo sugere que a atuação dessa modalidade de rede se desenvolve por áreas geograficamente amplas. A rigor, como em telecomunicações podem ser utilizados linques de comunicação locais, metropolitanos, regionais, nacionais e internacionais.

Estas são redes utilizadas por governos e associações internacionais que tem necessidade de se comunicar com empregados, clientes, fornecedores e outros, a maioria dos quais espalhados por todo o mundo.

WPA

Acrônimo para Wi-fi Protected Access. Este é um protocolo para a proteção e segurança das redes sem fio, que são bem mais críticos do que nas redes cabeadas, já que as informações transmitidas pelo ar podem ser sintonizadas por pessoas não autorizadas a fazê-lo. Daí a necessidade de se criar protocolos de proteção de redes wi-fi.

O WPA é, portanto, um protocolo de segurança de redes sem fio. A rigor, é um protocolo WEP bem melhorado. Até porque ele foi desenvolvido para superar vulnerabilidades do WEP.

Lançado em 2003, o WPA se vale de criptografia TKIP. Inicialmente foi chamado de WEP2. Mas em 2004 foi chamado de WPA2 pois passou a empregar criptografia mais eficaz, denominada AES.

WEP

Protocolo padrão de segurança de redes sem fio lançado em 1997. Utiliza algoritmo RC4 para criptografar pacotes que caminham pelas redes sem fio.

Depois de algum tempo se verificou que este protocolo apresentava algumas falhas, na forma de vulnerabilidades, fazendo com que os usuários desacreditassem do WEP. Um dos maiores problemas era mesmo o algoritmo da criptografia RC4 empregado.

Por isso o WEP foi aos poucos deixando de ser utilizado até que se transformasse em história.

Wi-Fi

O termo é acrônimo para Wireless Fidelity. Ou, Fidelidade sem Fio.

Trata-se de tecnologia de comunicação que dispensa o uso de cabos. As informações são

transmitidas via radiofrequência ou infravermelho (IR).

Não é necessário ter licença para instalar ou para operar um sistema Wi-Fi. O acesso deve ser feito através de um ponto de acesso localizado nos limites da área de abrangência do sistema. Os pontos de acesso Wi-Fi são usualmente chamados “hot spot”.

Wi-Fi não é sinônimo de Internet gratuita. Com efeito, Wi-Fi é uma forma de acessar a Internet sem cabos. Muitas vezes esse acesso é feito mediante pagamento de uma taxa, como acontece em alguns aeroportos, shoppings e outros locais públicos.

WLAN

Acrônimo para Wireless Local Area Network.

Esta é uma rede local que se vale de ondas de rádio para possibilitar a comunicação entre os componentes e para eventuais conexões com a Internet.

Uma das tecnologias usadas na WLAN é o padrão de transmissão Wi-Fi.

As conexões WLAN são muito úteis tanto para uso residencial e quanto para uso corporativo.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 2 - decibels



Conteúdo do capítulo 2

2. DECIBELS

2.1 LOGARITMOS

2.2 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS LOGARITMOS

2.3 MUDANÇA DE BASE

2.4 O BEL

2.5 O DECIBEL

2.6 REFERÊNCIAS E RÓTULOS

2.6.1 dBm 2.6.2 dBW

2.6.3 Multiplicador 10 ou 20 ?

2.6.4 dBv e dBu 2.6.5 dBV

2.6.6 Lp (antigo dB SPL) 2.6.7 dBA, dBB e dBC

2.6.8 Decibels, Multiplicadores, Referências e Rótulos 2.7 COMBINAÇÃO DE DECIBELS

2.8 NOMOGRAMAS 10 LOG E 20 LOG

2. DECIBELS

2.1 LOGARITMOS

Conhecer tudo sobre decibels é fundamental para quem trabalha com sonorização e áudio profissional.

Todos nós sabemos que 2 vezes 2 é igual a 4. Então, podemos escrever

$$2 \times 2 = 4$$

Essa forma de mostrar a identidade é denominada notação aritmética. Mas também podemos utilizar a notação exponencial e escrever

$$2^2 = 4$$

As duas expressões dizem exatamente a mesma coisa. A chave para o significado da segunda é o termo . O número 2 menor, que aparece acima e a direita do outro, maior, é denominado expoente. Ele mostra quantas vezes o número maior, denominado base, deve ser multiplicado por si próprio. Portanto, .

Outros exemplos: $2^3 = 2 \times 2 \times 2$, $3^3 = 3 \times 3 \times 3$, $10^3 = 1.000$, e $5^5 = 5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5$.

Podemos generalizar isso e dizer que qualquer número N, inteiro ou não, pode ser representado por B^e , isto é:

$$N = B^e \quad (2.1)$$

Lê-se N igual a B elevado ao expoente e.

tabela 2.1

FORMA DECIMAL	FORMA ARITMÉTICA	FORMA EXPONENCIAL
1.000.000	$10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$	10^6
100.000	$10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$	10^5
10.000	$10 \times 10 \times 10 \times 10$	10^4
1.000	$10 \times 10 \times 10$	10^3
100	10×10	10^2
10	10×1	10^1
1	$10/10$	10^0
0,1	$1/10$	10^{-1}
0,01	$1/(10 \times 10)$	10^{-2}
0,001	$1/(10 \times 10 \times 10)$	10^{-3}
0,0001	$1/(10 \times 10 \times 10 \times 10)$	10^{-4}
10	$100.000/10.000$	$10^5-10^4=10^1$
10	$\sqrt{100}$ ou $\sqrt[2]{100}$	$100^{1/2}$
10	$\sqrt[3]{1.000}$	$1.000^{1/3}$
100.000	100×1.000	$(10^2) \times (10^3) = 10^5$

A matemática nos permite representar qualquer número nas formas decimal, aritmética e exponencial, como mostra a tabela 2.1.

Voltando à expressão $N = B^e$, para um dado valor de N , ou B ou e podem ser escolhidos arbitrariamente. Assim, se for atribuído a N o valor 10.000, e B é escolhido 100, então e será igual a 2. Mas se e for escolhido 4, então B será igual a 10.

Outra forma de mostrar a identidade $N = B^e$ é

$$\log_B N = e \quad (2.2)$$

Lê-se logaritmo de N na base B é igual a e .

Consequentemente, a identidade $1.000 = 10^3$ pode ser representada

$$\log_{10} 1.000 = 3$$

Os logaritmos podem ter qualquer base, mas as bases mais usadas em engenharia de áudio são 10 e 2,71828.

Os **logaritmos de base 10** são indicados apenas por log, e não é preciso escrever . Desse modo, a identidade $\log_{10} 1.000 = 3$ pode ser abreviada para **log 1.000 = 3**.

Os logaritmos de base 2,71828 são chamados de **logaritmos naturais** ou **Neperianos**, e

são indicados por $\ln$.

Para achar o logaritmo de um número qualquer pode ser utilizada uma calculadora que disponha desse recurso, ou consultada uma tábua de logaritmos.

A figura 2.1 mostra os logaritmos de base 10 dos números 1 até 10.

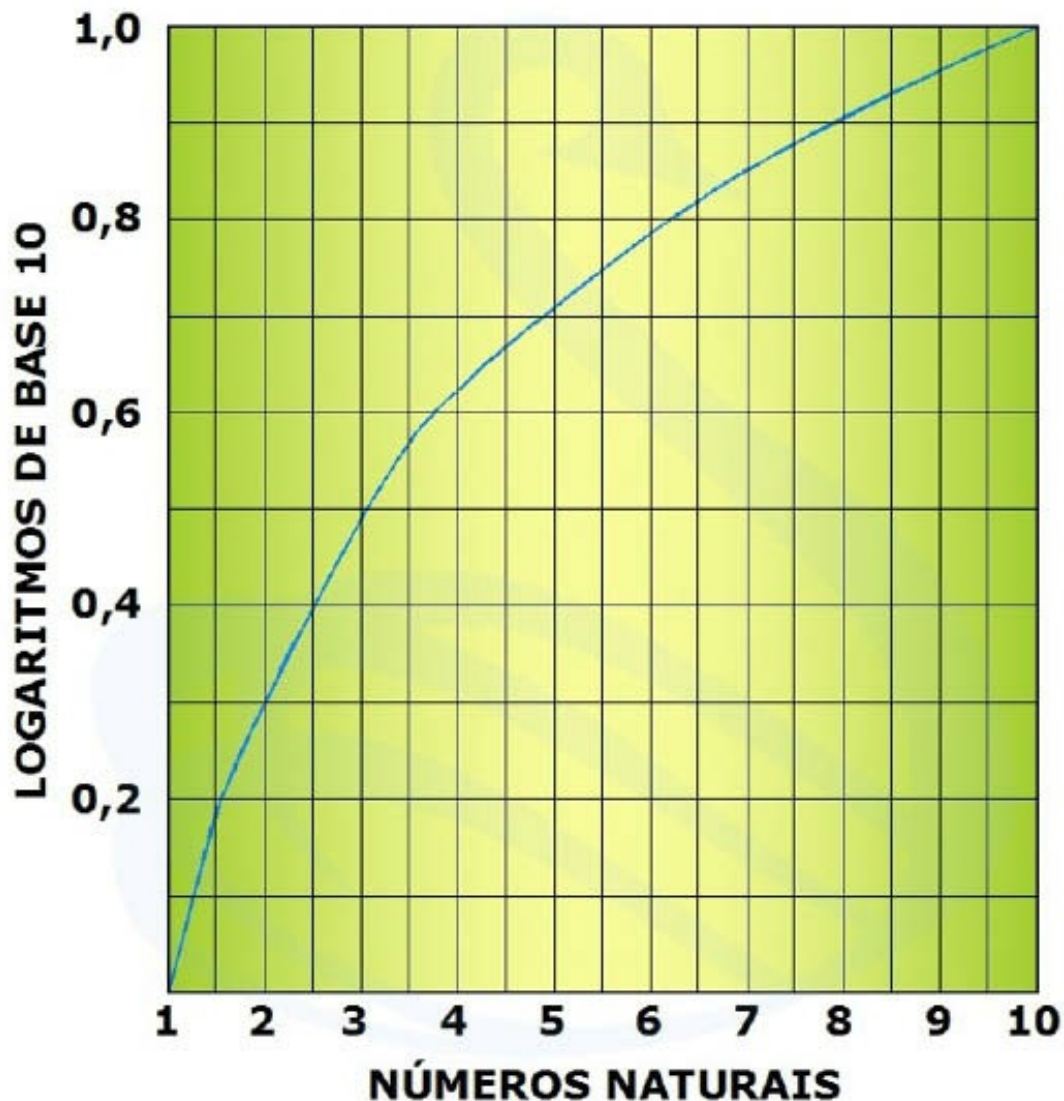


figura 2.1 logaritmos de base 10 dos números 1 até 10

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vamos usar a figura 2.1 para se encontrar o log de 2. Localiza-se o número 2 no eixo horizontal da figura, sobe-se até encontrar a curva, e caminha-se horizontalmente para a esquerda até chegarmos ao eixo vertical. Lê-se, então, o logaritmo, que é aproximadamente 0,3.

2.2 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS LOGARITMOS

Os logaritmos efetivamente diminuem o grau de dificuldade das operações aritméticas, reduzindo divisões a subtrações, multiplicações a somas, e exponenciações a simples multiplicações.

Exemplos:

$$\log (A/B) = \log A - \log B \quad (2.3)$$

$$\log (A \times B) = \log A + \log B \quad (2.4)$$

$$\log (A^B) = B \log A \quad (2.5)$$

Essas três expressões correspondem às principais propriedades dos logaritmos.

2.3 MUDANÇA DE BASE

Embora seja mais ou menos raro, por vezes nos vemos diante de ter que identificar o logaritmo de um número de base diferente de 10 e de e. Por exemplo, qual o expoente que deve ser dado ao número 3 para que o resultado seja 10?

Para resolvermos isso precisamos saber como determinar o logaritmo de um número qualquer em qualquer base. Basta chamarmos o número de x, a base de y e o logaritmo procurado de z.

Podemos escrever $x=y^z$. Na sequência, aplica-se o logaritmo aos dois termos para se obter $\log (x) = z.\log (y)$. Logo,

$$z = \frac{\log (x)}{\log (y)} \quad (2.6)$$

Agora fica fácil calcular o logaritmo de qualquer número em qualquer base, porque tudo o que é preciso é saber os logaritmos de x e de y na base 10.

Se aplicarmos a expressão (2.6) ao caso de nosso exemplo, tudo o que devemos fazer é calcular

$$z = \frac{\log 10}{\log 3}$$

A figura 2.1 mostra que $\log 10 = 1$ e que $\log 3 = 0,477$. Portanto

$$z = \frac{1}{0,477} = 2,096$$

2.4 O BEL

O bel (em homenagem a Alexander Graham Bell) é a unidade básica definida como o logaritmo de base 10 de uma relação de duas potências elétricas.

$$L_1 \text{ em Bels} = \log \frac{P_1}{P_2} \quad (2.7)$$

P_1 e P_2 são dois níveis de potência elétrica.

2.5 O DECIBEL

Mas o bel mostrou ser unidade um pouco grande para nossos propósitos, por isso mesmo de uso prático inconveniente. O decibel, que corresponde a um décimo do bel, passou então a ser usado. O decibel é abreviado dB, e o nível em dB de uma relação de duas potências elétricas é:

$$L_1 \text{ em dB} = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (2.8)$$

Como antes, P_1 e P_2 são dois níveis de potência elétrica.

Imaginemos um amplificador operando a 20 watts. Se ele passa a ser operado a 40 watts, qual foi o aumento expresso em dB? Basta calcular o aumento em dB

$$10 \log \frac{40}{20} = 10 \log 2 = 3,0\text{dB}$$

É importante observar que o aumento de 3,0 dB apenas significa que a potência elétrica foi dobrada (relação 2:1). No caso deste exemplo, de 20 para 40 watts. Mas também poderia ter sido de 2.000 para 4.0000 watts, ou de 1 para 2 watts. E ainda calcularíamos os mesmos 3,0 dB.

O engenheiro de áudio precisa desenvolver a habilidade de converter rapidamente da forma logarítmica para a exponencial e vice-versa, o que é básico para a solução de problemas do dia a dia.

Para que se calcule os watts que resultam do reforço ou atenuação de x decibels é preciso passar da forma logarítmica para a exponencial.

Por exemplo, que potência teremos se atenuarmos 100 watts em 5 dB? Devemos escrever

$$10 \log \frac{P}{100} = 5,0\text{dB}$$

e passar para a forma exponencial

$$\frac{P}{100} = 10^{\frac{5}{10}}, \text{ ou } P = 100 \times 10^{\frac{5}{10}} = 31,6 \text{ watts}$$

2.6 REFERÊNCIAS E RÓTULOS

Vimos que os decibels são apenas um tratamento matemático de uma relação entre dois níveis de potência elétrica. É muito comum, e sempre possível, estabelecer um desses níveis como referência, e expressar decibels em função da referência. Isto porque, desse modo, poderemos aferir nosso resultado contra uma dada referência.

Assim sendo, é indispensável que rotulemos os decibels para que saibamos exatamente de qual referência estamos falando.

Vejamos então o que é exatamente rotular os decibels.

Na verdade, rotular decibels é algo realmente muito simples e intuitivo. Apenas precisamos acrescentar uma ou duas letrinhas após a expressão dB. Essa letrinha, ou letrinhas adicionais, é chamada sufixo.

Os decibels já rotulados com os sufixos mais utilizados são discutidos a seguir.

2.6.1 dBm Em 1939 as indústrias norte-americanas estabeleceram a referência 1 miliwatt (775 mV sobre 600 ohms). O sufixo m depois do dB indica que a referência é a potência de 1 miliwatt.

A rigor, a referência não é apenas m, mas m(z). O z entre parênteses indica a impedância do circuito. Mas quase que invariavelmente ele é omitido.

Porque? Simples, porque nesse caso fica subentendido que a impedância é 600 W. Se omitimos o (z), podemos escrever

$$x \text{ dBm} = 10 \log \frac{P_1}{0,001 \text{ watt}} \quad (2.9)$$

O nível de potência 1 miliwatt, indicado em dBm é igual a 0 dBm. De fato,

$$10 \log \frac{0,001}{0,001} = 10 \log 1 = 0$$

Com nível de potência de 1 miliwatt e com impedância referência de 600 W, a voltagem será $V = \sqrt{0,001 \times 600} = 0,775$ volts.

Qual é a potência elétrica em watts correspondente a + 40 dBm?

Calcula-se

$$10 \log \frac{P}{0,001} = + 40,0 \text{ dBm}$$

Passando para a forma exponencial

$$\frac{P}{0,001} = 10^{\frac{40}{10}}, \text{ ou } P = 0,001 \times 10^4 = 10 \text{ watts}$$

A quantos dBm correspondem 1.000 watts?

Calcula-se

$$10 \log \frac{1.000}{0,001} = 10 \log 1.000.000 = + 60,0 \text{ dBm}$$

2.6.2 dBW

Outra referência muito útil para o engenheiro de áudio é 1 watt.

O sufixo W indica a referência de 1 watt. Os decibels que têm essa referência são rotulados dBW.

O nível de potência 1 watt em dBW é igual a 0 dBW. Porque

$$10 \log \frac{1}{1} = 10 \log 1 = 0$$

A quantos dBW correspondem 100 watts RMS?

Calcula-se

$$x \text{ dBW} = 10 \log \frac{100}{1} = 10 \log 100 = 20,0 \text{ dBW}$$

Qual é a potência em watts equivalente a 25 dBW?

Basta calcularmos (P é a potência em watts que queremos calcular)

$$10 \log \frac{P}{1} = 25,0$$

Passando para a forma exponencial

$$\frac{P}{1} = 10^{\frac{25,0}{10}}, \text{ segue que } P = 10^{2,5} = 316,2 \text{ watts}$$

A tabela 2.2 relaciona watts com seus correspondentes em dBW.

tabela 2.2

WATTS	dBW
1,00	0
1,25	1
1,60	2
2,00	3
2,50	4
3,20	5
4,00	6
5,00	7
6,30	8
8,00	9
10,00	10
12,50	11
16,00	12
20,00	13
25,00	14
32,00	15
40,00	16
50,00	17
63,00	18
80,00	19
100,00	20
125,00	21
160,00	22
200,00	23
250,00	24
320,00	25
400,00	26
500,00	27
630,00	28
800,00	29
1000,00	30

2.6.3 Multiplicador 10 ou 20?

Devemos ter em mente que os decibels se aplicam basicamente a quantidades como potências elétricas. Mas também é possível aplicá-las a outras quantidades, levando em consideração a particular quantidade a ser empregada.

Vejamos mais detalhadamente o exemplo de nosso amplificador que operava com 20 watts, e teve seu nível de potência aumentado em 3 dB, indo para 40 watts.

Digamos que sua carga fosse 8 ohms. Ao nível de 20 watts, a voltagem elétrica desenvolvida sobre a carga pode ser calculada $U_0 = \sqrt{P \times R} = 2,5 \text{ volts}$.

Ao nível de 40 watts a voltagem sobre a carga aumenta de 12,65 volts para $U_0 = \sqrt{P \times R} = 17,89 \text{ volts}$.

Para que calculemos a variação de voltagem em decibels, precisamos trabalhar com os níveis de potência.

Assim, os 40 watts são iguais a $(17,89)^2/8$ e os 20 watts iguais a $(12,65)^2/8$, sendo que nestas duas expressões os numeradores são as voltagens elevadas ao quadrado, e os denominadores as impedâncias de carga.

Então, a variação em dB é

$$10 \log \frac{(17,89)^2}{\frac{(12,65)^2}{8}} = 10 \log \frac{(17,89)^2}{(12,65)^2} = 10 \log \left(\frac{17,89}{12,65} \right)^2$$

Se aplicarmos a terceira propriedade dos logaritmos discutida no item 2.2 anterior, a expressão 2.5 nos permite reescrever o termo acima para

$$2 \times 10 \log \frac{17,89}{12,65} = 20 \log 1,4142 = 20 \times 0,15 = 3,0 \text{ dB}$$

O que acabamos de ver é que para voltagens, o multiplicador não é mais 10, mas 20. O termo $10 \log$ é usado para relações de potências elétricas, e $20 \log$ para relações de voltagens, pressões sonoras, correntes elétricas, distâncias físicas, *etc.*

Queremos saber a atenuação em voltagem, expressa em dB, imposta por um atenuador em cuja entrada se mede 6 volts RMS, e em cuja saída se mede 2 volts RMS. Calcula-se a variação em dB

$$20 \log \frac{6}{2} = 9,54 \text{ dB}$$

2.6.4 dBv e dBu Os sufixos **v** e **u** indicam exatamente a mesma coisa.

Que se faz uma medição de voltagem desconsiderando a impedância do circuito referência. Entretanto, a referência de voltagem é 0,775 volts, como se a impedância fosse 600 W. O que pode ou não ser o caso. E geralmente não é.

Uma vez que a impedância do circuito não é conhecida, o nível de potência também não é.

Por isso, no sentido estritamente técnico, esta não é uma real medição em decibels. O que não impede que o uso do dBv e do dBu seja extremamente prático, fácil e sobretudo, muito conveniente.

2.6.5 dBV

Similar ao dBv e ao dBu, exceto que a referência de voltagem agora é 1 volt. Logo,

$$\text{dBV} = \text{dBv (ou dBu)} + 2,21 \quad (2.10)$$

2.6.6 Lp (alternativa para dB SPL) Durante o desenvolvimento de projetos de acústica e de eletroacústica se faz muitas menções ao Lp. Qualquer som produzido promove uma alteração temporária da pressão atmosférica normal para um valor chamado pressão dinâmica. Portanto, estabelecido um valor de referência para a pressão, é possível expressar em decibels outros valores de pressão, tomando aquele como referência.

O valor de referência atual é 20mN/m² (20 microNewton por metro quadrado), e equivale ao limiar médio de audibilidade, ou seja, a pressão a partir da qual começamos a escutar sons.

Lp é a pressão sonora expressa em decibels. Por exemplo, qual é a pressão sonora em dB correspondente à pressão dinâmica de 2N/m²? Calcula-se

$$L_p = 20 \log \frac{2}{0,00002} = 20 \log 100.000 = 100,0 \text{ dB}$$

Estes dB ainda são usualmente chamados SPL (para Sound Pressure Level), que era sua

denominação anterior.

2.6.7 dBA, dBB e dBC

Neste ponto precisamos lembrar que a sensibilidade do ouvido humano varia com a frequência e com a pressão sonora. Isto é, a resposta de frequência de nossos ouvidos não é plana.

Em 1956 Robinson e Dadson levantaram experimentalmente as curvas da figura 2.2, chamadas “contornos de mesma audibilidade” (equal loudness contour).

Cada uma das curvas representa a pressão sonora que tons de diferentes frequências devem ter para nos parecerem tão audíveis quanto o de 1.000 Hertz.

Vamos olhar mais atentamente para a curva da figura que leva o rótulo de 60 phon.

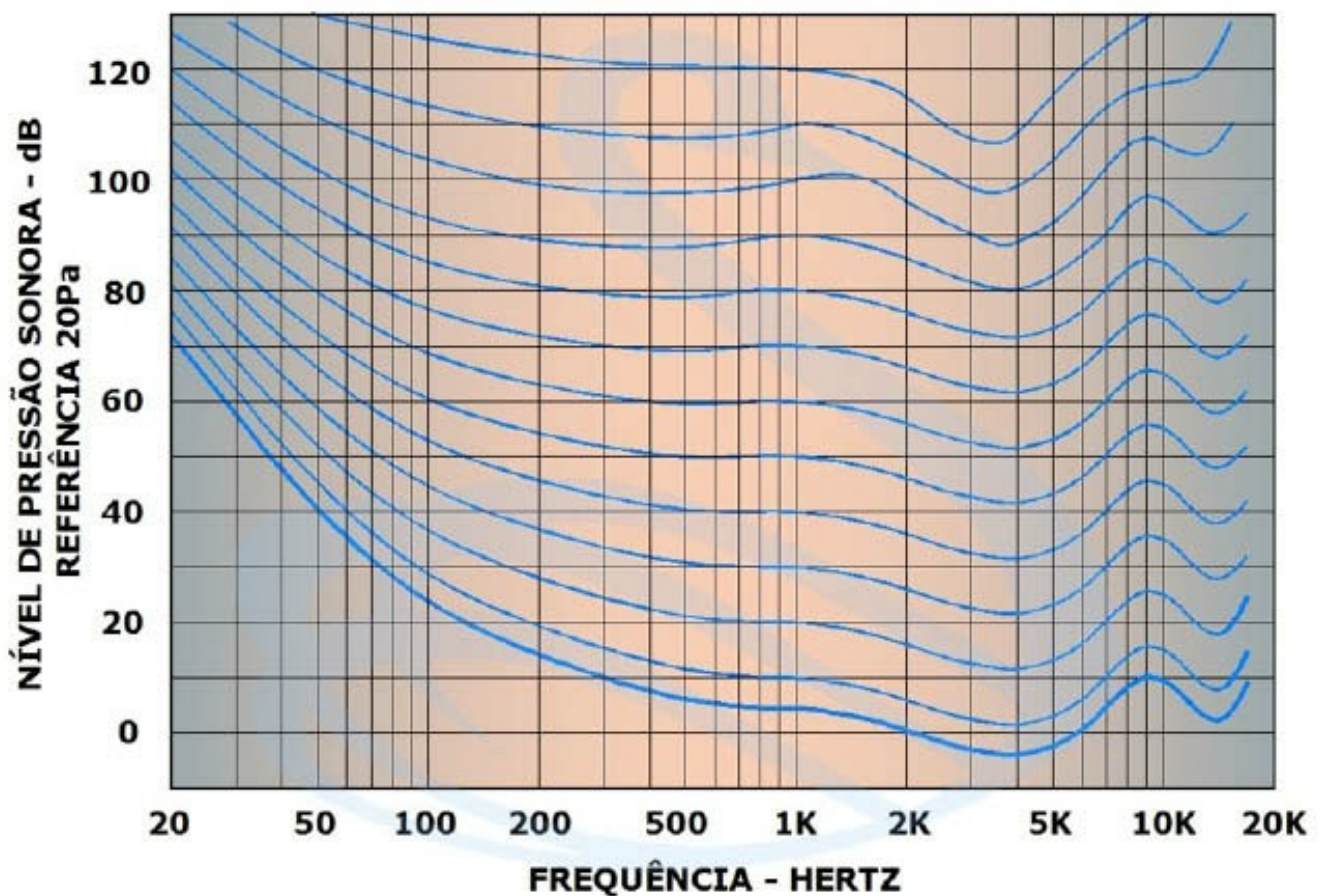


figura 2.2 contornos de mesma audibilidade - Robinson e Dadson, 1956
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ela cruza a vertical que corresponde a 1.000 Hertz exatamente na horizontal que corresponde à pressão sonora de 60,0 dB.

E cruza a vertical que corresponde a 40 Hertz aproximadamente na horizontal hipotética que corresponde à pressão sonora de 83,0 dB.

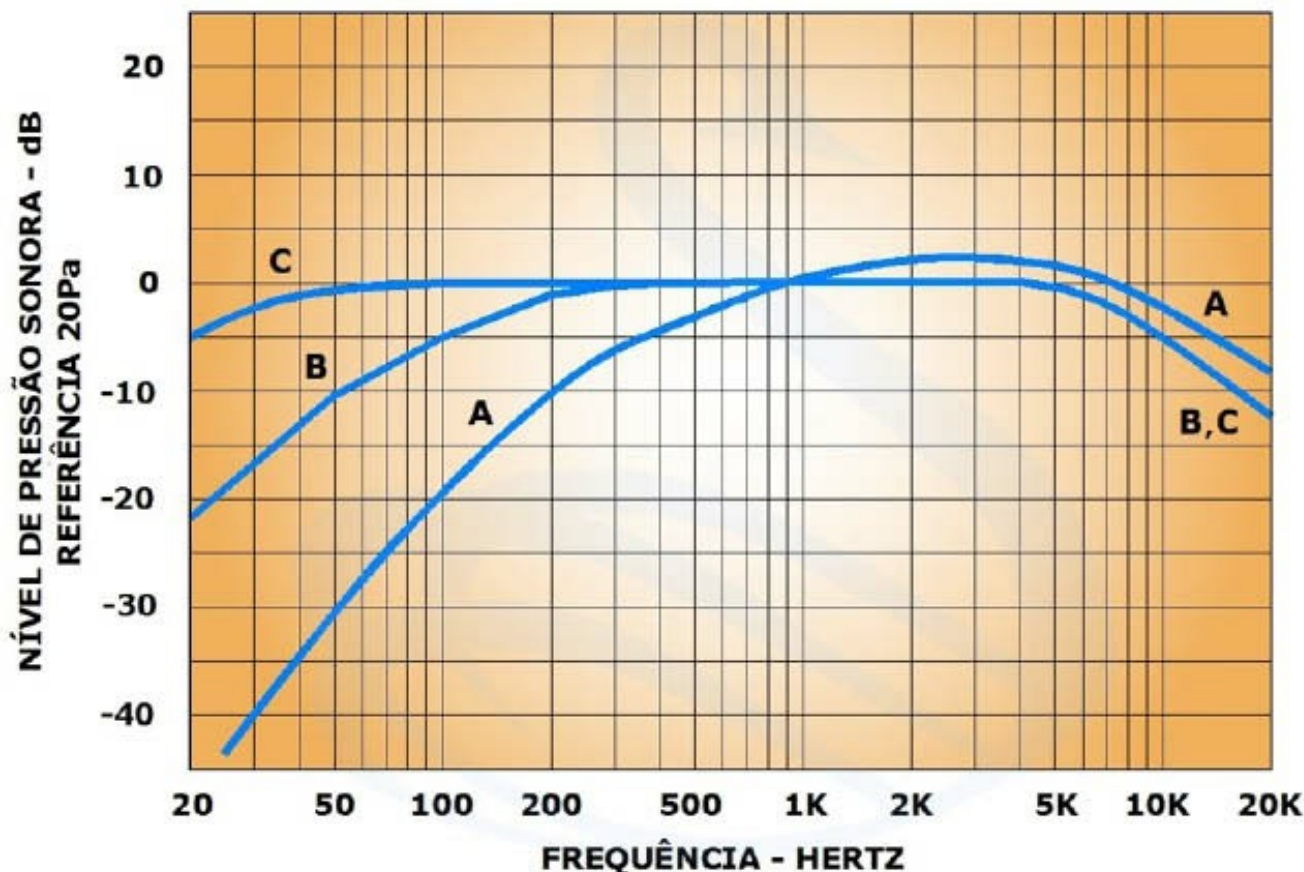


figura 2.3 curvas de ponderação A, B e C

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isso significa que para ouvirmos com a mesma audibilidade um som com frequência de 1.000 Hertz, e pressão sonora de 60 dB e outro com frequência de 40 Hertz, este precisa ter pressão sonora de 83,0 dB, ou seja, + 23,0 dB. Essa diferença corresponde a uma variação típica da sensibilidade de nossos ouvidos. Olhando a figura podemos notar que a variação de sensibilidade é tão maior quanto mais nos aproximamos dos extremos da gama de frequências audíveis. Nota-se também que as diferenças de sensibilidade diminuem com o aumento da pressão sonora.

A figura 2.3 mostra três curvas: A, B e C. As três são curvas de ponderação. Os medidores de pressão sonora utilizam como parte integrante de seus circuitos redes de ponderação que reproduzem essas curvas. O objetivo é fazer com que os instrumentos de medida se comportem aproximadamente como o ouvido humano.

A curva A é baseada na curva de 40 phon da figura 2.2, e a curva B na curva de 70 phon da figura 2.2. A curva C é praticamente plana. Essas três curvas são ponderadas com pequenas variações em relação ao trabalho de Robinson e Dadson, de modo que sejam adaptadas à natureza aleatória dos campos acústicos em geral. Medições de pressão sonora feitas com a curva de ponderação A são chamados dBA. Quando as curvas selecionadas são a B e a C, temos o dBB e o dBC, respectivamente.

A tabela 2.3 sugere a curva de ponderação a ser utilizada nas medições de diferentes pressões sonoras. Estas sugestões estão baseadas em recomendações feitas pelo mestre Beranek.

tabela 2.3

Muitas vezes é conveniente utilizar apenas a curva A para qualquer pressão sonora, com o objetivo de comparar diretamente pressões sonoras diferentes, como a seguir: tabela 2.4

dBA ref. 20 µPa	ATIVIDADE
0	limiar de audição para jovens, entre 1 e 4 kHz
7	câmara anecóica bem construída
10	andar descalço sobre carpete
15	sala a prova de som
20	estúdio musical para cinema
25	estúdio musical de rádio e TV
30	estúdio genérico para gravação de voz
32	suspiro suave a 4 metros
35	biblioteca com boa acústica
40	níveis mínimos para áreas residenciais
50	pequeno escritório
50	média para residências
50	tráfego leve de veículos, a 30 metros
60	escritório de contabilidade
60	áreas residenciais urbanas barulhentas
60	grandes lojas
63	aquecedor a gás, a 1,5 metros
70	trem de carga, a 30 metros
70	supermercado
70	áreas residenciais muito barulhentas
80	tráfego pesado de veículos, a 30 metros
82	furadeira pneumática, a 15 metros
90	salão com máquinas impressoras de agulhas
92	metrô, a 5 metros
100	imediações de fornalha elétrica
105	serra profissional
110	máquina rebidadeira
120	trovão
121	decolagem de jato, a 80 metros
130	prensa hidráulica, a 1 metro
135	sirene de 50 HP, a 30 metros

Para determinar as sensibilidades das caixas acústicas, são feitas medidas de pressão sonora, razão pela qual é preciso estar familiarizado com as curvas de ponderação e sua utilização.

2.6.8 Decibels, Multiplicadores, Referências e Rótulos A tabela 2.5 mostra um conjunto de decibels rotulados, respectivos multiplicadores, referências e quantidades aferidas.

tabela 2.5

DECIBEL ROTULADO	MULTIPLICADOR	REFERÊNCIA	QUANTIDADE AFERIDA
dBm	10	1 miliwatt	potência elétrica
dBW	10	1 watt	potência elétrica
dBf	10	1 fentowatt	potência elétrica
dBK	10	1 quilowatt	potência elétrica
dBm	10	-90 dBm, a 1 kHz	ruído de referência
dBj	20	1.000 microvolts	voltagem
dBu	20	0,775 volts	voltagem
dBv	20	0,775 volts	voltagem
dBV	20	1 volt	voltagem
dBmA	20	1 miliampère	corrente elétrica
Lp (dB SPL)	20	20 µPa	pressão sonora
Aten D _x ou ΔD _x	20	1 metro	distância

2.7 COMBINAÇÃO DE DECIBELS

Muitas vezes o engenheiro de áudio se defronta com a necessidade de ter que combinar decibels. Se perguntarmos a alguém que não tenha experiência com tais combinações qual é o nível resultante da combinação de dois níveis de 70 dB, provavelmente obteremos a resposta 140 dB. O que é errado. Decibels são unidades logarítmicas e não podem ser somadas algebricamente.

A combinação de dois ou mais níveis se faz com a ajuda da expressão

$$dB_{COMBINADOS} = 10\log \left[10^{\frac{dB_1}{10}} + 10^{\frac{dB_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{dB_N}{10}} \right] \quad (2.11)$$

Nesta expressão, dB₁, dB₂, e dB_N são os níveis diferentes a combinar.

Logo, os dois níveis de 70 dB só podem ser combinados como segue:

$$10 \log \left[10^{\frac{70}{10}} + 10^{\frac{70}{10}} \right] = 73,0 \text{ dB}$$

Ainda, se quisermos combinar os níveis 52,0 dB, 56,0 dB e 61,0 dB, calculamos

$$10 \log \left[10^{\frac{52}{10}} + 10^{\frac{56}{10}} + 10^{\frac{61}{10}} \right] = 10 \log (1.815.521,90) = 62,59 \text{ dB}$$

A diferença entre dois níveis se acha por

$$10 \log \left[10^{\frac{\text{dB}_1}{10}} - 10^{\frac{\text{dB}_2}{10}} \right] \quad (2.12)$$

Vamos praticar com este caso. Duas fontes de som trabalhando simultaneamente produzem nível de ruído combinado de 72 L_p. Uma delas foi desligada e a pressão sonora resultante da fonte ativa é 67,5 L_p. Qual seria a pressão sonora da fonte que se desligou se operasse sozinha?

Calculamos

$$10 \log \left[10^{\frac{72}{10}} - 10^{\frac{67,5}{10}} \right] = 70,09 \text{ dB}$$

O nomograma da figura 2.4 ajuda a combinar rapidamente níveis diferentes.

Imagine que numa determinada sala o aparelho de ar condicionado é sozinho responsável por uma pressão sonora de 66,0 L_p, e que a impressora do micro é responsável, também sozinha, por uma pressão sonora de 68,0 L_p.

Podemos combinar esses dois níveis calculando

$$10 \log \left[10^{66/10} + 10^{68/10} \right] = 70,12 \text{ dB}$$

Mas também podemos entrar com a diferença $68,0 \text{ dB} - 66,0 \text{ dB} = 2$ no eixo horizontal do nomograma da figura, subir verticalmente até encontrar a curva, e caminhar horizontalmente para a esquerda até lermos 2,12 e fazer a conta $68 \text{ dB} + 2,12 = 70,12 \text{ dB}$.



figura 2.4 nomograma utilizado para combinação de decibels acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
 Há um particular problema que, noto vez por outra, costuma tirar o bom humor de muita gente. Assim, e após termos visto o que vimos até aqui, creio que este é o momento ideal para tratarmos dele. Trata-se de converter uma medida tomada com um analisador de espectro de tempo real, em seu modo flat, para a correspondente figura dBA.

Imagine que tenhamos feito uma medida com um analisador de espectro de oitavas, que nos informa:

Consultando a curva A da figura 2.3, podemos determinar graficamente as ponderações, e subtraí-las ou somá-las dos níveis L_p acima indicados, para obter as novas figuras ponderadas, que são:

E agora, estamos em condições de combinar todos esses níveis, aplicando a expressão 2.11, como segue:

$$10 \log \left(10^{\frac{26}{10}} + 10^{\frac{41}{10}} + 10^{\frac{57}{10}} + 10^{\frac{66}{10}} + 10^{\frac{72}{10}} + 10^{\frac{78}{10}} + 10^{\frac{81}{10}} + 10^{\frac{74}{10}} + 10^{\frac{66}{10}} \right) = 83,77 \text{ dB}$$

Que é o resultado desejado.

2.8 NOMOGRAMAS 10 LOG E 20 LOG

Os nomogramas 10 log e 20 log, respectivamente das figuras 2.5 e 2.6 são de grande utilidade quando não se dispõe de uma calculadora.

No nomograma 10 log há duas escalas inferiores.

A primeira está graduada em decibels abaixo do nível de referência 1 watt, e a segunda está calibrada em dBm.

Os níveis de potência podem ser lidos diretamente na escala superior.

Primeiro exemplo de utilização do nomograma 10 log: qual é o nível de entrada em dBm que terá um amplificador com 200 watts de potência e ganho 65 dB ao operar com máxima potência?

Localizamos 200 watts e lemos na parte inferior + 53 dBm.

Resposta: + 53 dBm - 65 dB = - 12 dBm.

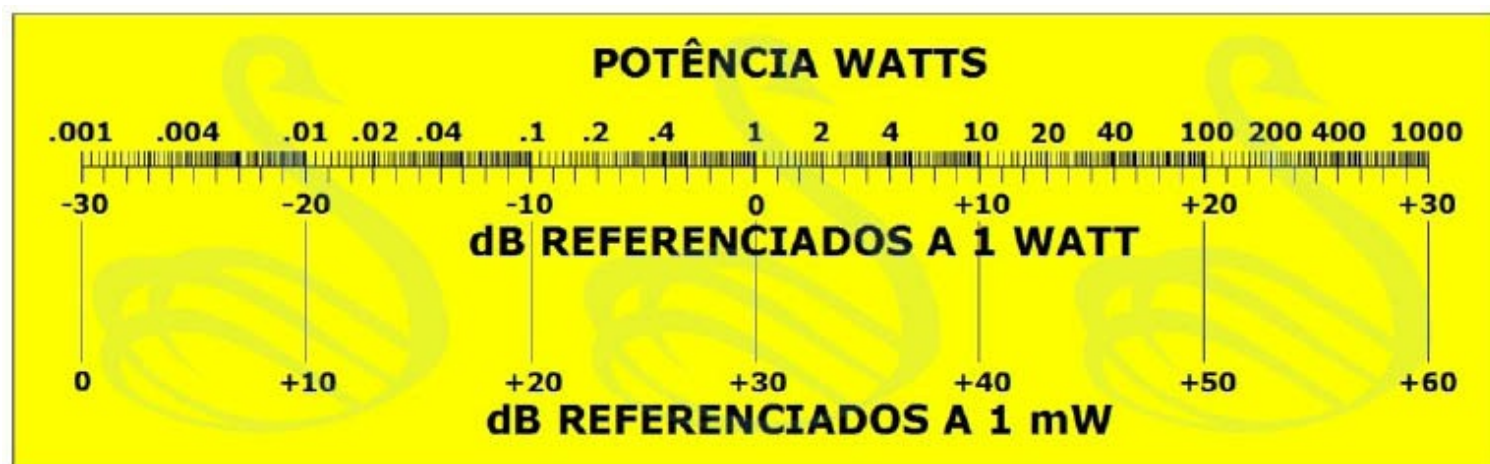


figura 2.5 nomograma 10 log acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Segundo exemplo: pretendo operar meu amplificador de 50 watts com margem de 11 dB. Qual será meu nível de programa em watts? Localizamos 50 watts e lemos 17 dBW. Subtraindo destes os 11 dB, teremos 6 dBW.

Localizamos 6 dBW na primeira escala inferior para lermos 4 watts na parte superior, que é a resposta.

O nomograma 20 log também é de uso fácil e aplica-se a voltagens, correntes elétricas, distâncias e pressões sonoras. Há duas escalas. A superior, graduada de 0,5 a 1.000, e a inferior, graduada nos correspondentes valores 20xlog.

Primeiro exemplo de utilização do nomograma 20 log: em quantos dB aumentamos o nível de potência se passamos a voltagem de 2 volts para 32 volts? Localizamos na escala superior 2 e 32, para lermos na escala inferior + 6 dB e + 30 dB, respectivamente. A resposta é + 30 - (+ 6) = 24 dB.

VOLTAGEM, CORRENTE, DISTÂNCIA, ETC.



figura 2.6 nomograma 20 log acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Segundo exemplo: uma caixa acústica produz pressão sonora de 65 Lp a 50 metros. Qual é a pressão sonora a 10 metros da caixa? Achamos os dB relativos a 50 metros, 34,0 dB, e os dB relativos a 10 metros, 20,0 dB. Resposta: 65 Lp
(pressão sonora a 50 metros) + (34 dB - 20 dB) = 79 Lp.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 3 **noções de acústica**



Conteúdo do capítulo 3

3. NOÇÕES DE ACÚSTICA

3.1 A IMPORTÂNCIA DA ACÚSTICA PARA O ENGENHEIRO DE ÁUDIO

3.2 CONCEITUAÇÃO DE SOM

3.3 PROPAGAÇÃO E VELOCIDADE

3.3.1 Conceitos Elementares de Física 3.3.1.1 Inércia

3.3.1.2 Elasticidade 3.3.1.3 Pressão e Pressão Atmosférica 3.3.2 Propagação do Som 3.3.3 Velocidade de Propagação do Som 3.3.3.1 Máxima Pressão Dinâmica Possível 3.4 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DO SOM

3.4.1 Frequência

3.4.2 Intensidade

3.4.3 Forma de Onda

3.5 TEMPO x ESPAÇO

3.5.1 Período

3.5.2 Comprimento de Onda 3.6 NOSSAS PERCEPÇÕES PSICOFÍSICAS

3.6.1 Altura

3.6.2 Audibilidade

3.6.3 Timbre

3.7 O SIMPLES, O COMPLEXO, O QUADRADO E OS RUÍDOS

3.7.1 Tom Puro

3.7.2 Onda Complexa

3.7.3 Onda Quadrada

3.7.4 Ruídos

3.7.4.1 Ruído Branco 3.7.4.2 Ruído Rosa

3.8 DIFRAÇÃO

3.9 QUANDO O SOM INCIDE NUMA SUPERFÍCIE

3.9.1 Reflexão

3.9.2 Absorção

3.9.3 Refração

3.9.4 Transmissão

3.10 COMO OS SONS SÃO TRANSMITIDOS

3.10.1 Através das Estruturas 3.10.1.1 Efeito Diafragmático e Perda de Transmissão
3.10.1.2 Classe de Transmissão de Ruídos (STC) 3.10.1.3 Capacidade de Isolação de
Ruídos das Várias Estruturas 3.10.2 Pelo Ar
3.10.3 Transmissão por Estruturas Sólidas 3.11 CRITÉRIOS DE RUÍDOS (NC) 3.12
FREQUÊNCIA DE RESSONÂNCIA 3.12.1 Elétrica
3.12.2 Mecânica
3.12.3 Acústica

3.13 COEFICIENTES DE ABSORÇÃO

3.14 ABSORSORES ACÚSTICOS

3.14.1 Materiais Porosos e Fibras 3.14.1.1 Tipos de Materiais 3.14.1.2 As
Propriedades dos Absorsores Porosos 3.14.1.3 Propriedades dos Absorsores Porosos
Versus Coeficientes de Absorção 3.14.1.4 Revestimentos Transparentes 3.14.1.5
Obstrução dos Poros e das Fibras 3.14.1.6 Absorsores ou Isolantes?
3.14.2 Painéis de Ação Diafragmática 3.14.3 Bass Traps, Tube Traps e Outros Traps
3.14.4 Ressonadores de Helmholtz 3.14.4.1 Formas Modernas 3.14.4.2 Absorsores de
Painéis Perfurados 3.14.4.3 Absorsores Slats 3.15 ONDAS OU RAIOS?

3.16 ONDAS E MODOS

3.16.1 Ondas Estacionárias 3.14.3.1 Cordas e Tubos 3.16.2 Modos Acústicos 3.17
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (RT60) 3.17.1 Sabine
3.17.2 Norris-Eyring 3.17.3 Fitzroy
3.17.4 Constante do Ambiente (R) 3.17.5 O RT60 Ideal

3.18 HOMOGENEIDADE DE CAMPO DE SOM

3.18.1 Difusão

3.18.2 Difusores

3.18.2.1 Difusores Policilíndricos 3.18.2.2 Difusores Geométricos 3.18.2.3 O Dr.
Manfred Schroeder e seus Difusores a La Carte 3.18.2.4 Similaridade Própria,
Invariabilidade, Dimensão Fractal e Difusores Fractais 3.18.2.5 Meu Difusor
Experimental 3.18.2.6 Outros Difusores 3.19 A ANATOMIA DO TRATAMENTO
ACÚSTICO

3.19.1 Pensando Antecipadamente na Homogeneidade de Campo Acústico 3.19.1.1
Formas Físicas 3.19.2 Controle do Nível de Ruído Interno 3.19.2.1 Paredes
3.19.2.2 Portas e Janelas 3.19.2.3 Ruídos Transmítidos por Estruturas Sólidas
3.19.2.4 Fontes Internas de Ruído 3.19.3 Controle do Comportamento Acústico
Interno 3.19.3.1 Padrão de Reflexões 3.19.3.2 Tempo de Reverberação 3.19.3.3

Distribuição dos Sons pelo Ambiente Fechado 3.19.3.4 Acústica Variável 3.20

MUFLAS ACÚSTICAS

3.20.1 Muflas Dissipativas 3.20.1.1 Tubos Internamente Revestidos 3.20.1.2

Atenuadores Cilíndricos e Retangulares 3.20.1.3 Cotovelos Internamente Revestidos

3.20.1.4 Venezianas Acústicas 3.20.1.5 Câmaras Plenum 3.20.2 Muflas Reativas (ou

Refletentes) 3.20.2.1 Câmara de Expansão 3.20.2.2 Mufla de Cavidade 3.20.2.3 Mufla

Dispersiva (ou Difusiva) 3.20.2.4 Mufla Difusora 3.20.2.5 Outros Tipos de Muflas

3.20.3 Aspectos Gerais 3.20.3.1 Efeitos da Temperatura 3.20.3.2 Entrada de Ar

3.20.3.3 Contaminação 3.21 SISTEMAS DE AR CONDICIONADO E VENTILAÇÃO

3.21.1 Sistemas de Ar Condicionado 3.21.1.1 Aparelho de Janela 3.21.1.2 Aparelhos

Self-Contained 3.21.1.3 Aparelhos Super Self-Contained 3.21.1.4 Aparelhos Split

3.21.1.5 Sistemas Centrais com Instalação Central 3.21.1.6 Sistemas Centrais com

Serpentinas de Água Gelada Descentralizadas e Fan-Coils 3.21.2 O Projeto

3.21.3 A Real Dimensão dos Ruídos 3.21.3.1 Ruídos dos Ventiladores 3.21.4 A

Escolha do Local da Máquina 3.21.5 Contenção Acústica 3.21.6 Desacoplamento

Mecânico 3.21.3 Dutos

3.21.3.1 Forma Física dos Dutos 3.21.3.2 Turbulência Aerodinâmica 3.21.3.3

Emendas

3.21.3.4 Curvas em 90 graus 3.21.3.5 Atenuadores de Vazão 3.21.3.6 Vazão e

Velocidade 3.21.4 Formas de Desacoplamento dos Dutos 3.21.4.1 Desacoplamento

da Estrutura Predial 3.21.4.2 Desacoplamento Dimensional 3.21.4.3 Alinhamento

3.21.4.4 Seção Transversal Variável 3.21.4.5 Muflas e Atenuadores 3.21.4.6

Atenuadores de Linha 3.21.4.7 Atenuadores por Absorção Retangulares 3.21.4.8

Câmaras de Expansão Naturais 3.21.4.9 Câmaras Plenum 3.21.4.10 Muflas Reativas

com Braços de Interferência 3.21.5 Escolha e Caminhamento das Rotas 3.21.6

Grelhas de Insuflação 3.21.6.1 Grelha Convencional Melhorada 3.21.6.2 Grelha com

Velocidades Diferentes 3.21.6.3 Grelha para Baixas Frequências 3.21.6.4 Exaustão e

Retorno de Ar

3. NOÇÕES DE ACÚSTICA

3.1 A IMPORTÂNCIA DA ACÚSTICA PARA O ENGENHEIRO DE ÁUDIO

Acústica é a ciência que estuda os fenômenos vibratórios em geral. Entre os quais está o som. E os estudos incluem a produção e a propagação dos sons, suas propriedades intrínsecas, fenômenos como a reflexão, a difração, a absorção, a refração, e muitos outros.

Mas também é comum usarmos o termo acústica quando nos referimos ao caráter de um recinto no sentido deste “tratar” os sons de sua maneira própria. É o caso de alguém que diz “a acústica daquele teatro é ótima”. Ou “a acústica desta igreja deixa muito a desejar”.

A engenharia de áudio não admite que se projete qualquer sistema sem levar em conta o comportamento acústico do recinto para o qual o mesmo se destina. Devemos nos lembrar sempre que a sala, com sua característica acústica própria e marcante, que é como se fosse uma impressão digital, é um elo inexorável entre os alto-falantes e nossos ouvidos. Por essa razão, não são aceitáveis argumentos como “o sistema é bom, o que é ruim é a acústica do recinto”. Ao invés disso, o sistema deve ser projetado para trabalhar nas condições acústicas existentes.

Naturalmente, quanto mais adequada é a acústica de um dado local, menores são os esforços de projeto e mais reduzidos os investimentos no sistema para que se obtenha um determinado resultado.

Veremos neste capítulo o que é acústica adequada.

Mas é certo que o engenheiro de áudio precisa saber avaliar muito bem a acústica de qualquer recinto. E para isso dispõe de um vasto ferramental.

Neste ponto, gostaria de citar alguns trechos que escrevi para o manual de treinamento do EASY, meu programa de treinamento auditivo: As boas salas de concerto internacionais, das quais as 76 pesquisadas por Beranek são apenas uma amostra, são geralmente dotadas de excelentes características acústicas.

Não por acaso, mas porque engenheiros de acústica, de som, de cenografia, de elétrica, de hidráulica, de iluminação, arquitetos, decoradores, e muitos outros profissionais se unem para obter resultados.

De forma integrada e consistente. Logo de início se procura atingir marcas de desempenho muito claras, discutidas e predeterminadas. E não construir apenas trabalhos de arte, que até podem ser verdadeiras esculturas, mas geralmente com resultados finais totalmente imprevistos, e usualmente catastróficos.

A gente não está habituado com isso e estranha, né?

Esses profissionais, competentes e experientes porque vem fazendo isso há décadas, são pagos para realizar tarefas nobres por quem sabe que esses locais dependem de resultados. O que deveria parecer mais do que óbvio, uma vez que essa é a razão principal de sua existência.

Assim, via de regra, a qualidade da música tocada nesses locais é excelente.

As pessoas que frequentam as referências de áudio, e que apreciam não só a música, mas também sua qualidade sônica, procuram poltronas entre a quinta e a décima fila, em posições tão próximas do corredor central quanto possível. Em relação às demais, essas regiões

realmente tendem a apresentar melhores resultados.

Com relação aos grandes recintos públicos para música, devo notar que no Brasil temos pouquíssimas salas especializadas, como espaços para ópera, salas de concerto (concert halls), salas de música (music halls), teatros para musicais, e assim por diante. E a maioria de nossas salas é tratada com requintado descuido com relação à acústica e elementos infraestruturais em geral. Inclusive os próprios sistemas eletroacústicos. Tenha em mente que a qualidade média das referências no Brasil é usualmente muito inferior à que se encontra com facilidade na Europa, Japão, Estados Unidos, Canadá e muitos outros cantos.

3.2 CONCEITUAÇÃO DE SOM

O som pode ser pesquisado pelo lado físico, ou pelo psicofísico. Podemos dizer que há som quando tomba uma árvore num parque onde não há ninguém para ouvir o barulho da queda? Podemos. Este é o entendimento físico. Há produção de som sempre que um objeto é posto a vibrar, ou seja, quando ocorre o estímulo físico.

Do lado psicofísico, a explicação é que quando essas vibrações são transmitidas até nossos ouvidos, experimentamos a sensação da audição. Tal postulado pressupõe a existência de um meio através do qual o som possa se propagar. Para que isso seja possível, basta que o meio possua elasticidade e inércia. Que é o caso do ar.

3.3 PROPAGAÇÃO E VELOCIDADE

3.3.1 Conceitos Elementares de Física Nosso objetivo é entender como os sons se propagam no ar. Mas para que esse entendimento possa ser bem absorvido, é preciso que tenhamos uma ideia clara de alguns conceitos elementares de física, especialmente os de inércia, elasticidade e pressão atmosférica.

3.3.1.1 Inércia

Inércia é a resistência natural que qualquer corpo material apresenta diante de qualquer tentativa que se faça de alterar seu estado de movimento. Assim, um corpo parado apresentará resistência para movimentar-se. E um corpo com movimento apresentará resistência para parar.

3.3.1.2 Elasticidade Elasticidade é uma propriedade que possuem praticamente todos os corpos que conhecemos. Trata-se de sua capacidade de retornar à forma física original quando cessa a força que os submete a determinados tipos de deformação, entre as quais está a compressão.

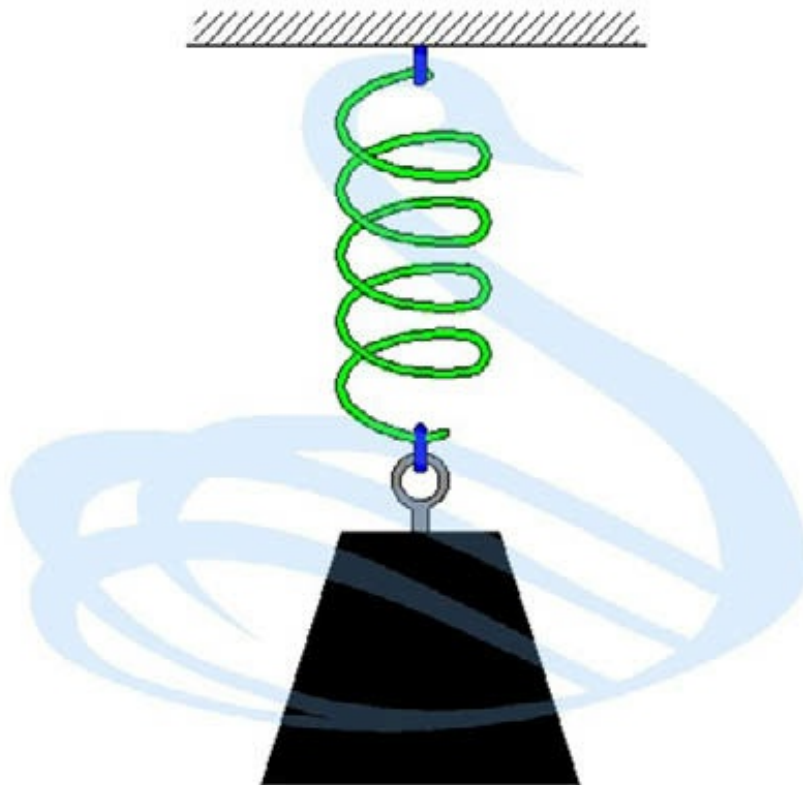


figura 3.1 peso suspenso por mola acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Podemos entender melhor os conceitos de inércia e de elasticidade com o auxílio da figura 3.1, que mostra um peso suspenso por uma mola. Se puxarmos o peso para baixo e soltá-lo, ele vai subir e voltar até sua posição de repouso. Mas não vai parar aí. Sua inércia vai fazer com que ele continue subindo até um determinado ponto. Aí o peso para e desce novamente, e torna a subir e a descer, num processo de oscilação, ou vibração, que diminuirá gradualmente em função das perdas friccionais da mola, da resistência do ar, *etc.*

Essas vibrações só podem ocorrer graças à elasticidade da mola e à inércia do peso.

Gravem esses termos. Elasticidade e inércia.

3.3.1.3 Pressão e Pressão Atmosférica Todas as substâncias que conhecemos são essencialmente matéria, ou massa, geralmente medida em quilos.

Por outro lado, a lei fundamental da dinâmica ($F = m \cdot g$) estabelece que um corpo de massa **m** sujeito à ação de uma aceleração **g**, adquire uma força **F**. Como a aceleração é expressa em m/s^2 (metros/segundo ao quadrado), e força é igual ao produto da massa pela aceleração, então podemos expressar a unidade de medida de qualquer força em $Kg \cdot m/s^2$.

A gravidade é uma forma de aceleração. Por isso, qualquer corpo sujeito a ela adquire força. Que conhecemos como peso.

Assim, quando dizemos que fulano pesa tantos quilos, queremos dizer que essa é a força que seu corpo adquire porque está sujeito à ação da gravidade. De fato, sem gravidade, seu próprio corpo não teria peso. Mas continuaria a ter massa.

Para compreender isso melhor, pense num astronauta. Quer na terra, quer no espaço, seu corpo possui a mesma massa, ou a mesma quantidade de matéria. Mas em órbita, sem a ação da gravidade, seu corpo deixa de ter peso.

Do mesmo modo, a substância que envolve a terra, isto é, o ar, também é essencialmente

massa Agora, com uma ligeira pitada de poluição e de conteúdo ácido. E como tal, adquire peso, ou força, porque está sujeita à ação da gravidade.

Por outro lado, o que se chama de pressão é apenas uma força exercida por unidade de área. Como por exemplo, a força de tantos Kg.m/s^2 aplicada sobre um metro quadrado. E se é assim, então a unidade de medida de pressão pode ser expressa em kg/m.s^2 .

Quando a pressão resulta da força exercida pelo peso do ar sobre uma unidade de superfície, então a chamamos de pressão atmosférica.

A ação da gravidade é tão menos intensa quanto mais altos estamos em relação ao nível do mar. Por isso, adotou-se como norma medir a pressão atmosférica ao nível do mar. Ao que chamamos de pressão atmosférica padrão, ou normal. Cujo valor é 101.325 Kg/m.s^2 . Ou 101.325 Pascal . Porque $1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Kg/m.s}^2$.

Também é conveniente sabermos que $1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pascal} = 100.000 \text{ Kg/m.s}^2$. Assim, também podemos dizer que a pressão atmosférica padrão é aproximadamente igual a $1,013 \text{ bar}$.

Outra unidade de medida de força é o dina, igual a $0,00001 \text{ Kg/m.s}^2$. Portanto, também podemos nos referir à pressão atmosférica padrão como $101.325 \times 10^5 \text{ dinas/m}^2$, ou ainda, $1,0132 \times 10^6 \text{ dinas/cm}^2$.

3.3.2 Propagação do Som A figura 3.2 representa um alto-falante convencional reproduzindo som.

Vamos imaginar que o cone descreva movimentos alternados para frente e para trás.

Quando o cone começa a se movimentar para a frente, a camada de ar diante dele começa a ser “empurrada”. Mas como podemos entender o que é empurrar a camada de ar? Como uma compressão física. Que provoca o aumento da pressão atmosférica. E essa variação contínua de pressão começa a caminhar afastando-se do falante.

Quando o cone atinge seu limite de excursão para a frente, o aumento de pressão imposto à camada de ar imediatamente à frente dele é máximo. Nesse exato momento o cone para e começa a voltar para trás.

Em seu caminho de volta para trás, o cone vai reduzindo gradativamente o aumento de pressão antes imposto à camada de ar, até que atinge sua posição de repouso. Nesse exato momento a camada de ar à frente do falante está com pressão atmosférica normal.

Como o aumento gradativo da pressão que caminhou para a frente, o restabelecimento do valor da pressão também caminha, seguindo imediatamente as variações anteriores.

Sem parar, o cone continua a se movimentar, indo agora para trás de sua posição de repouso. E nesse movimento, “puxa” a camada de ar que está à sua frente.

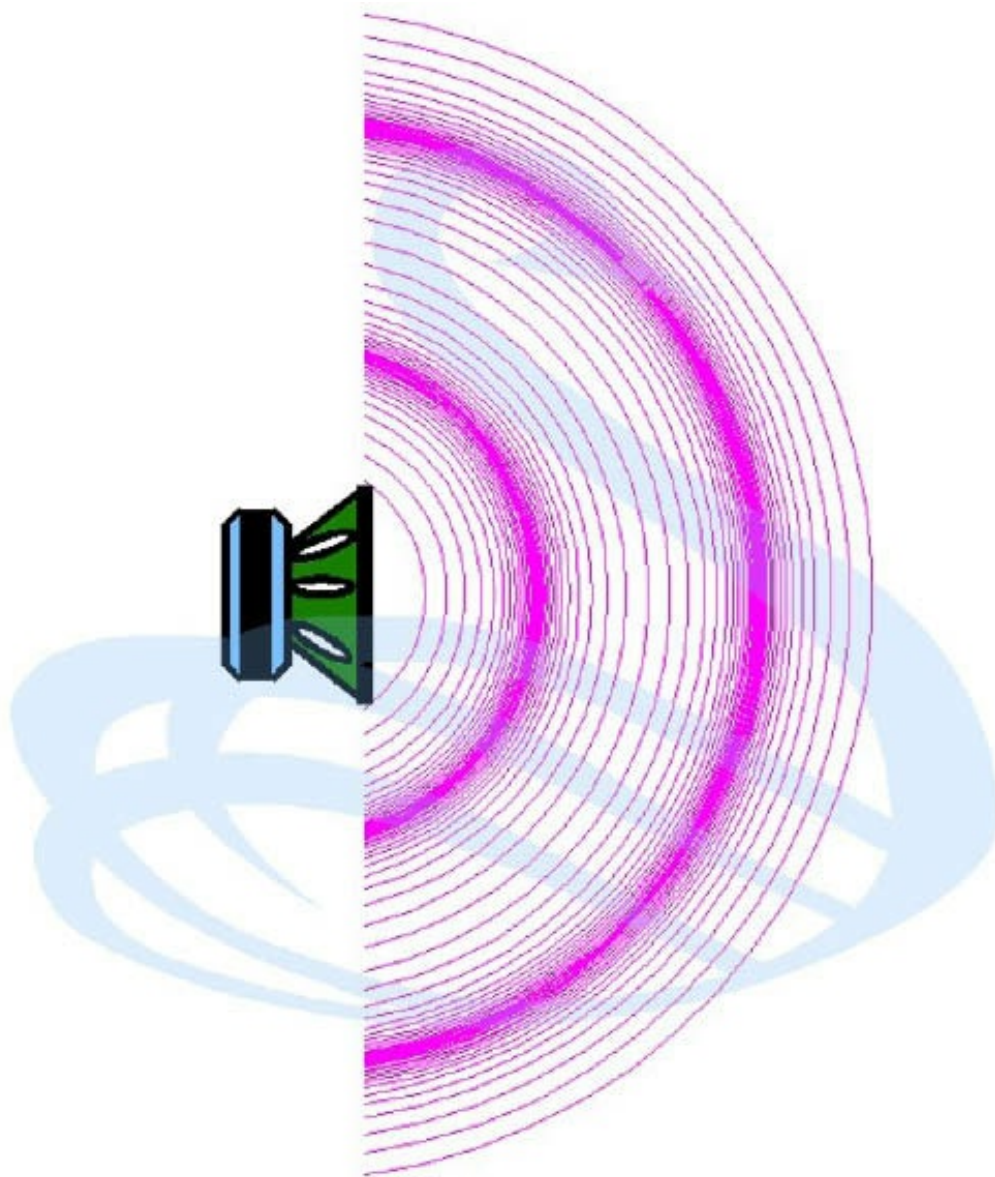


figura 3.2 propagação do som no ar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Também podemos entender esse puxão como uma rarefação física, que provoca a redução da pressão atmosférica normal. Tanto mais quanto mais o cone se desloca para trás. E essas reduções de pressão também caminham para a frente do falante, seguindo as demais variações. Até que o cone atinge seu limite de excursão para trás. Quando a camada de ar adquire o máximo de sua rarefação.

Nesse momento o cone para e começa a voltar para sua posição de repouso. E a rarefação da camada de ar começa a ser restabelecida, até que a pressão atmosférica atinge seu valor normal. Como antes, essa redução de rarefação também caminha para a frente do falante, seguindo as demais variações.

Chama-se de onda de movimento a uma sucessão de camadas de compressão e de rarefação, viajando numa dada direção, como ilustra a figura. Na representação da figura que está à direita do falante, nota-se a variação entre um tom bem escuro, e outro bem claro. O bem escuro representa o maior aumento imposto à pressão atmosférica. E o bem claro a maior redução imposta à ela.

Quando a compressão promove o aumento da pressão atmosférica normal, também há um aumento da temperatura e da densidade da camada de ar. Inversamente, as rarefações provocam quedas de temperatura e de densidade.

Também há um outro conceito que precisa estar muito claro para você.

Quando se atira uma pedra numa superfície de águas calmas, a partir do ponto do impacto formam-se ondas concêntricas e sucessivas que vão se afastando mais e mais. Só que as partículas de água não se movimentam no sentido das ondas, mas apenas pouca coisa para cima e para baixo. Com efeito, isto pode ser visualmente observado se sobre a lâmina d'água estiverem flutuando folhas secas caídas de uma árvore.

Do mesmo modo, durante a propagação dos sons as partículas de ar não acompanham as ondas de movimento. Elas apenas se deslocam pouca coisa para um lado e para o outro em torno de sua posição de repouso. Quando as partículas são deslocadas de suas posições originais, a combinação de sua inércia própria com as forças elásticas do ar limita o deslocamento, enquanto essa mesma combinação tende a trazê-las de volta para onde estavam originalmente. Nesse ponto, não só o falante provoca a rarefação, fazendo com que essas partículas se afastem no sentido contrário do anterior, mas também, a inércia das partículas contribui para que elas ultrapassem o ponto original, exatamente como o peso da figura 3.1.

Os sons podem se propagar em qualquer meio de transmissão que tenha elasticidade e inércia. O que é o caso do ar, de diversos gases, de líquidos em geral e de sólidos, como o concreto, o aço, *etc.*

3.3.3 Velocidade de Propagação do Som A velocidade de propagação do som no ar é governada pela temperatura, pela elasticidade (ou compressibilidade), e pela densidade do meio. Quanto mais alta é a temperatura, e menores são a compressibilidade e a densidade do meio, maior é a velocidade de propagação. Desses três fatores, o que tem maior peso na determinação da velocidade é a temperatura.

Assim sendo, embora com algum sacrifício de acuidade, para efeitos práticos, considera-se em áudio que a velocidade de propagação do som no ar depende apenas da temperatura. E o correspondente cálculo pode ser feito empregando-se a seguinte expressão simplificada:

$$v = 20,06\sqrt{273 + x^{\circ}C} \quad (3.1)$$

onde

- v é a velocidade do som em metros por segundo, e
 - $x^{\circ}\text{C}$ a temperatura em graus Celsius
- Para 21°C teríamos 344 metros/segundo.

Nos sólidos, a velocidade de propagação dos sons é aproximadamente proporcional à densidade do meio.

A tabela 3.1 mostra as velocidades de propagação dos sons em diversos meios.

tabela 3.1

MEIO	VELOCIDADE DO SOM m/s
ar, temperatura 21°	344
água fresca	1.480
água salgada, salinidade 3,5%, temperatura 21°	1.520
plexiglass	1.800
madeira de textura mole	3.350
tora de eucalipto	3.800
concreto	3.400
aço	5.050
alumínio	5.150
vidro	5.200
placa de gesso tipo gypsum	6.800

As variações de pressão, densidade e temperatura do ar devidas à passagem do som são ínfimas.

Por exemplo, a pressão sonora efetiva produzida por um trompete, a 1 metro, é cerca de 9 dinas/cm². Essa flutuação de pressão é cerca de 9 milionésimos da pressão atmosférica normal, que é aproximadamente $1,013 \times 10^6$ dinas/cm². Ondas como as produzidas pelo trompete provocam variações na densidade do ar da ordem de apenas 0,001%, e variações de temperatura de cerca de 0,0008 graus Celsius.

As variações de pressão produzidas com a passagem do som são chamadas de **pressão dinâmica**.

Quando usamos o termo variações, naturalmente estamos nos referindo a variações em relação à pressão atmosférica normal. E como esta é limitada, a pressão dinâmica também o é.

3.3.3.1 Máxima Pressão Dinâmica Possível Creio que seria interessante fazermos um exercício para determinar qual é o limite prático de pressão dinâmica. Ao que vale dizer, qual é a máxima pressão sonora que a pressão atmosférica normal nos permite obter.

Sabendo que a pressão atmosférica normal ao nível do mar é de aproximadamente $1,01 \times 10^6$ dinas/cm², precisamos de uma referência, também estabelecida em dinas/cm².

Bem, isso é fácil. No capítulo anterior vimos que a referência para cálculos de pressão sonora em decibels era 20mN/m² (20 microNewton por metro quadrado). Como 1 Newton = 10^5 dinas, então $20\text{mN/m}^2 = 0,0002$ dinas/cm². E já temos nossa referência, como queríamos.

Agora basta calcular a pressão dinâmica máxima que podemos obter em circunstâncias normais:

$$PD_{\text{máxima}} = 20 \log \frac{1,01 \times 10^6}{0,0002} = 20 \log (5.050.000.000) = 20 \times 9,7 = 194,0 \text{ dB}$$

O que esse cálculo mostra é que, ao nível do mar, não é possível produzir pressão sonora superior a 194,0 L_p.

Portanto, se alguém lhe falar sobre um sistema capaz de produzir um nível de pressão sonora de 205 L_p ao nível do mar, não acredite. Não seria verdade.

A 50 quilômetros acima do nível do mar a pressão atmosférica é cerca mil vezes menor do que ao nível do mar. E para esta altura, nossos cálculos ficariam

$$PD(50\text{km})_{\text{máxima}} = 20 \log \frac{10^3}{0,0002} = 20 \log (5 \times 10^6) = 134,0 \text{ dB}$$

E esta seria a máxima pressão sonora possível a 50 km de altura.

3.4 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DO SOM

3.4.1 Frequência O conceito de frequência deve parecer até mesmo intuitivo. Basta que nos lembremos da frequência ou assiduidade de nossos filhos na escola.

Em áudio, frequência é a quantidade total de vibrações para a frente e para trás que uma fonte de som, e conseqüentemente, o meio de transmissão do som, completa em 1 segundo.

As frequências são usualmente designadas por um número, seguido de Hertz ou Hz, na forma abreviada, ou ainda, kHz, que equivale a 1.000 Hz.

3.4.2 Intensidade Define-se intensidade de som como o fluxo de energia sonora por unidade de área, geralmente expressa em watts acústicos/cm².

Imaginemos que uma clarineta produza uma potência total de 0,004 watts, quando é tocada uma nota de baixa frequência, circunstância na qual o som é propagado praticamente da mesma forma em todas as direções. Se quisermos calcular a intensidade de som a 1 metro da boca da clarineta, precisamos calcular a área da esfera que tem raio de 1 metro. Esta área é

$$A = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \quad (3.2)$$

onde

- R é o raio da esfera.

Fazendo as contas para nosso exemplo chegamos a $12,56\text{m}^2$, ou 125.600 cm^2 . E a intensidade de som é determinada por

$$I = \frac{W}{S} = \frac{0,004}{125.600} = 3,18 \times 10^{-8} \text{ watts / cm}^2$$

3.4.3 Forma de Onda A forma de onda de um som qualquer define precisamente a natureza de uma oscilação completa, para a frente e para trás, de uma dada partícula vibrando num campo sonoro.

A figura 3.3 mostra três formas de onda diferentes, nas quais as frequências e pressões sonoras são aproximadamente iguais.

Uma delas é produzida por um diapasão acústico, outra por um violino, e a última por um oboé. E vemos então como variam as formas de onda. Frequência, intensidade e forma de onda são propriedades físicas dos sons, e podem ser facilmente medidas com instrumentos.

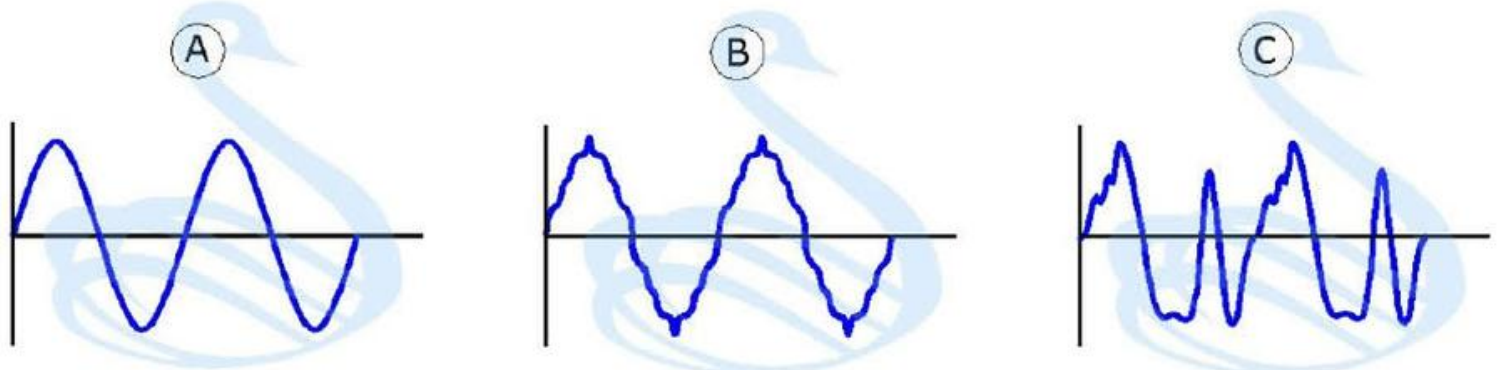


figura 3.3 formas de onda (A) Diapasão acústico, (B) Violino e (C) Oboé acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 3.5 TEMPO x ESPAÇO

3.5.1 Período

Como o próprio nome sugere, o significado de período é o tempo. Trata-se do tempo necessário para que um ciclo inteiro possa se completar.

Logo, período é o inverso da frequência. E podemos escrever:

$$P = \frac{1}{F} \quad (3.3)$$

onde

- P é o período em segundos, e
 - F é a frequência em Hertz
- Exemplo. Qual é o período de um som com frequência de 1.000 Hz? Calculamos

$$P = \frac{1}{1.000} = 0,001 \text{ segundo} = 1 \text{ milissegundo}$$

3.5.2 Comprimento de Onda Comprimento de onda é a distância física que uma onda caminha até concluir um ciclo completo. Como frequência é a quantidade de ciclos completados por segundo, frequência e comprimento de onda (λ) estão relacionados como segue:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (3.4)$$

onde

• λ é o comprimento de onda em metros • v é a velocidade do som em metros por segundo, e • f é a frequência em Hz Muitos confundem período com comprimento de onda. Para que isso não aconteça com você, ao pensar em período pense em tempo. E ao pensar em comprimento de onda pense em distância física.

3.6 NOSSAS PERCEPÇÕES PSICOFÍSICAS

Altura, audibilidade e timbre são os nomes dados às nossas percepções psicofísicas, que correspondem às propriedades físicas dos sons.

3.6.1 Altura

Altura (pitch) é o nome dado à nossa percepção da frequência. O Dr. Harvey Fletcher desenvolveu uma experiência muito útil. Reproduziu simultaneamente dois tons puros, um de 168 Hz e outro de 318 Hz, inicialmente com intensidade baixa.

E um painel de ouvintes julgou o som resultante muito discordante. Em seguida, sem que as frequências fossem alteradas, a reprodução foi feita com intensidade muito elevada. E as pessoas julgaram o som resultante muito agradável, com relação de oitavas de 150 Hz para 300 Hz. Por isso, não se pode relacionar matematicamente frequência com altura de maneira fácil, mas apenas constatar que são coisas análogas.

Mas podemos afirmar que percebemos de modo diferente uma mesma frequência, dependendo da intensidade do som.

3.6.2 Audibilidade A audibilidade (loudness) é o nome dado à nossa percepção da intensidade do som. Também não é possível relacionar uma coisa com outra, ao menos de modo linear. Mais detalhes sobre isso adiante.

Nossos ouvidos seguem a chamada Lei de Weber, também aplicável aos demais sentidos humanos. Ela estabelece que, para ser perceptível, qualquer alteração de energia deve ser uma fração constante do nível de energia original.

O que significa que, para percebermos variações semelhantes entre um som de baixa energia e outro, de intensidade muito elevada, a alteração havida neste último deve ser muito superior.

Raciocinando matematicamente podemos dizer que a magnitude da percepção sônica varia de acordo com o logaritmo da intensidade de som.

3.6.3 Timbre

O timbre (timbre ou quality) é como se chama nossa percepção da forma de onda. A forma de onda pode ser facilmente observada num osciloscópio. Mas relacioná-la com timbre é muito difícil, dado o grau de complexidade do mecanismo humano de audição. É graças ao timbre que sabemos quem nos fala, mesmo sem olhar para a pessoa, ou distinguir o instrumento musical que está tocando.

Dois sons podem ter a mesma fundamental e as mesmas harmônicas. Mas se sua distribuição espectral não for a mesma, eles não parecerão idênticos para nossos ouvidos.

3.7 O SIMPLES, O COMPLEXO, O QUADRADO E OS RUÍDOS

3.7.1 Tom Puro

O que se chama de vibração periódica é algo que podemos entender de modo muito simples se associarmos o significado do termo vibração com o significado do termo periódico. Pense no peso e na mola da figura 3.1.

Se não tivéssemos perdas naquele movimento, ele seria para sempre. Este é o exemplo mais clássico de todas as vibrações periódicas. Enfim, um movimento que se repete do mesmo modo a cada período de tempo, sempre igual ao período anterior.

A forma de onda da figura 3.4 é obtida pela plotagem do seno de um ângulo contra o próprio ângulo. Por isso mesmo, a onda é chamada onda sinusoidal.

Ela corresponde ao tipo mais elementar de vibração periódica, chamado movimento harmônico simples. Que é periódico porque cada movimento se repete exatamente como o anterior, a cada período de tempo idêntico ao anterior. E se isso é verdade, então a taxa de repetição é constante. Ao que vale dizer que o movimento tem uma só frequência.

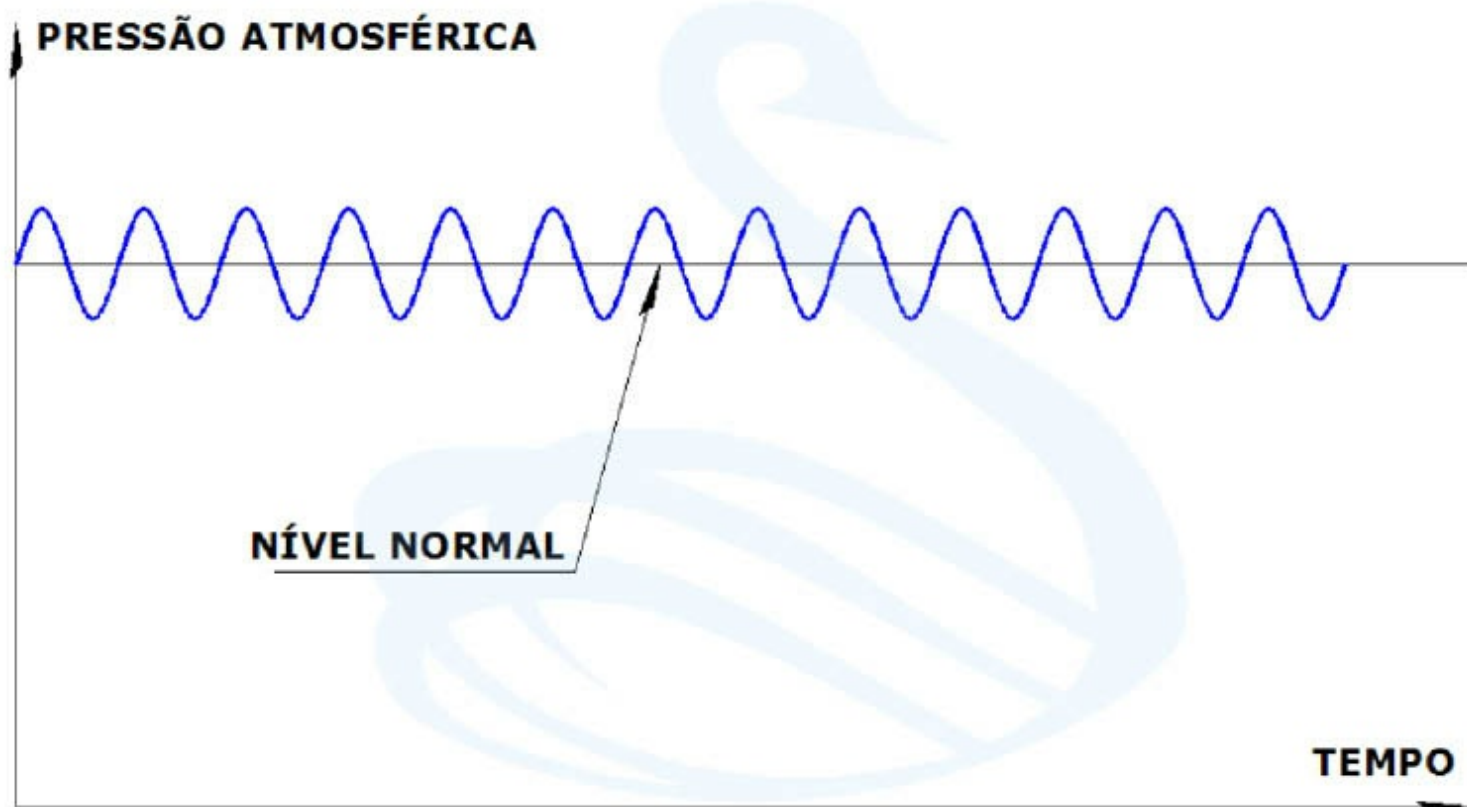


figura 3.4 variações da pressão atmosférica durante a propagação dos sons acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essa forma de vibração é a de um tom puro, como o do de um diapásão acústico. A figura 3.4 mostra como as variações de pressão se propagam no tempo.

sinusoidal ou senoidal?

Essa é uma pergunta que já me habituei a ouvir. Creio que esse é o fórum adequado para tocarmos no assunto.

Acabamos de ver que a forma de onda de um tom puro é obtida pela plotagem do seno de um ângulo contra o próprio ângulo. Portanto, a participação da função trigonométrica é evidente. A origem da palavra seno é a palavra latina **sinu**, que significa curvatura.

O termo senoidal provém diretamente de senóide. Este termo, muito conhecido na geometria analítica, descreve o lugar geométrico plano expresso pela equação cartesiana

$$y = a.\text{sen}(b.x)$$

sendo **a** e **b** são duas constantes Por outro lado, o termo sinusoidal refere-se especificamente a sinusóide, que é qualquer curva obtida em função das variações do seno de um ângulo. Por exemplo, como na figura 3.4. Desse modo, embora a questão tenha forte conteúdo semântico, sou de opinião que o termo sinusoidal é melhor aplicado. Mas reconheço que isso não é uma regra geral. Ao contrário, percebo que a maioria dos autores usa realmente o termo senoidal.

3.7.2 Onda Complexa As formas de onda correspondentes a notas de instrumentos musicais são sempre mais complexas do que as ondas sinusoidais.

As duas formas da parte inferior da figura 3.3 já servem como exemplo. Elas não são tons puros, embora sejam periódicas, pois também se repetem a cada período.

As formas de onda complexas são formadas por dois ou mais tons puros, que se combinam.

Por outro lado, muitas músicas mais elaboradas acabam combinando os sons de vários instrumentos, que são tocados simultaneamente.

Às vezes, juntamente com vozes. Nessas circunstâncias, as formas de onda resultantes podem ser muito complexas.

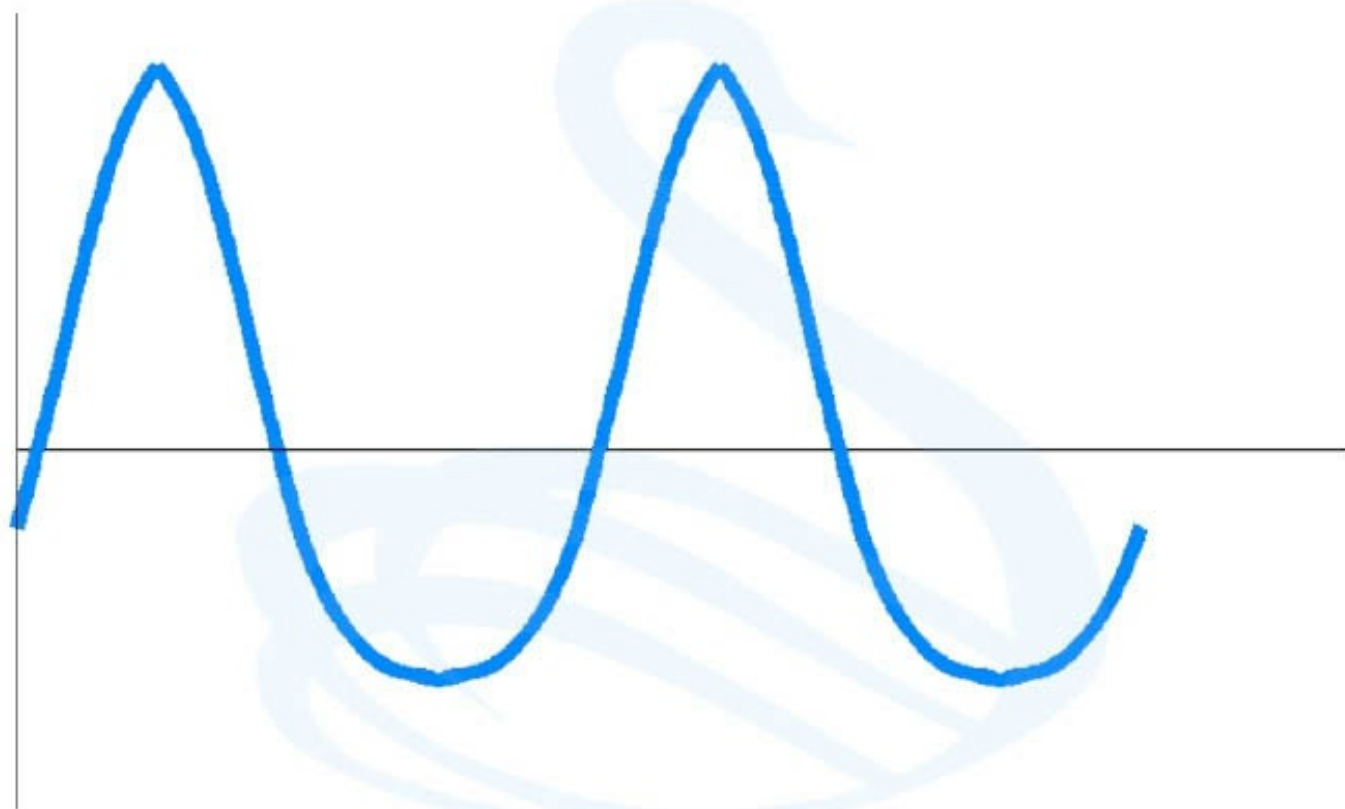


figura 3.5 exemplo de forma de onda correspondente a um movimento periódico, mas não harmônico
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Examine agora a forma de onda da figura 3.5. Para efeito de análise, seria de todo desejável se pudéssemos decompô-la. Mas como fazer isso?

Bem, a tarefa tornou-se muito fácil depois que o matemático francês Jean Baptiste Joseph Fourier formulou um de seus teoremas, que por sinal é um dos métodos descritivos mais poderosos utilizados nos cálculos de análise de frequências.

O teorema, que tem todo um embasamento matemático, afirma que qualquer forma de onda periódica, por mais complexa que seja, é sempre formada pela combinação de ondas sinusoidais puras, cujas frequências estão harmonicamente relacionadas.

Parece complexo?

Mas, não se preocupe.

Apenas olhe para a figura 3.6, e veja o que Fourier quis dizer.

As duas ondas sinusoidais puras estão harmonicamente relacionadas porque uma tem o dobro da frequência da outra.

E de sua “soma” resulta a forma de onda não harmônica.

A quantidade de ondas sinusoidais que compõem a forma complexa pode ser infinita. Tudo depende apenas do grau de complexidade da forma resultante.

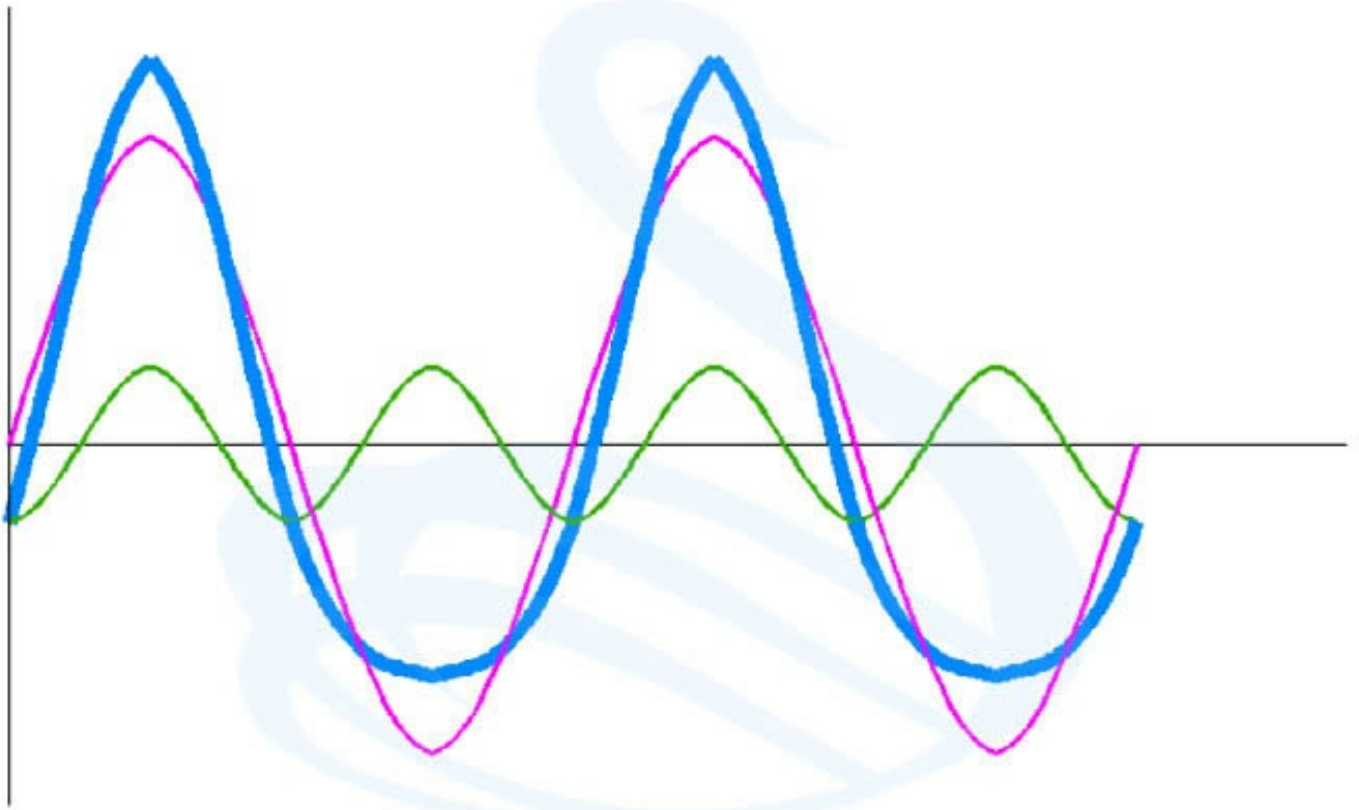


figura 3.6 forma de onda da figura 3.5, e como ela é formada pela “soma” de duas ondas sinusoidais puras, harmonicamente relacionadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma vez que a representação gráfica da figura 3.6 nos mostra as frequências das formas que compõem a forma de onda complexa, ela também nos mostra uma coisa de elevado interesse prático. O espectro de frequências da forma de onda complexa.

Ou seja, como as frequências das diversas componentes se distribuem pelo espectro.

Mas convenhamos, se quisermos saber realmente qual é o espectro de frequências de uma forma de onda complexa, figuras como a 3.6 não são muito práticas. Especialmente se as componentes não são apenas duas, como no caso do exemplo.

Uma outra maneira de representar o espectro de frequências é com gráficos como os da figura 3.7.

Desse modo podemos ver muito mais claramente os espectros para quaisquer casos. A figura 3.7 nos ajuda a ver os espectros de frequência de uma onda sinusoidal pura, das formas de onda das figuras 3.5 e 3.6, e de uma onda quadrada.

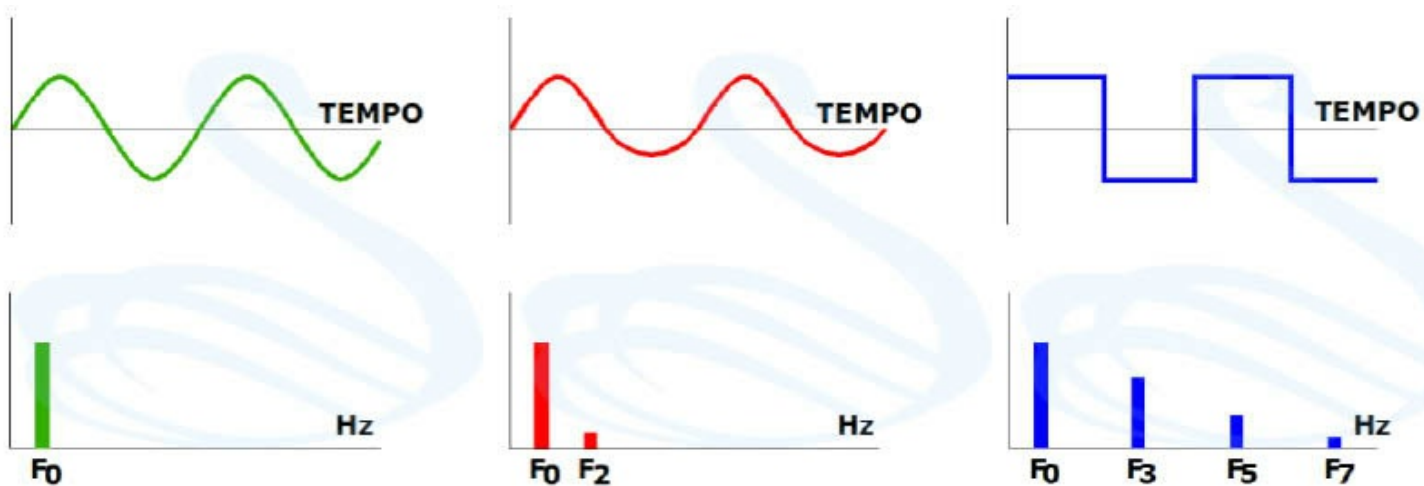


figura 3.7 onda sinusoidal pura à esquerda, forma de onda complexa no centro e onda quadrada à direita, com seus respectivos espectros de frequência acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne E para termos ideia de como uma forma de onda pode ser complexa, vejamos na figura 3.8 uma representação gráfica que tomei emprestada da tela de meu osciloscópio, monitorando uma das faixas de um CD de testes comercial.

Observe os caminhos sinuosos caprichosamente estabelecidos pela música com sua dinâmica. Veja que não semelhanças aparentes entre essas formas de onda e as dos tons puros, nem com as que chamei de formas de onda complexas, nem com as formas de onda quadradas. Podemos dizer que essas são formas de onda complexas muito especiais.

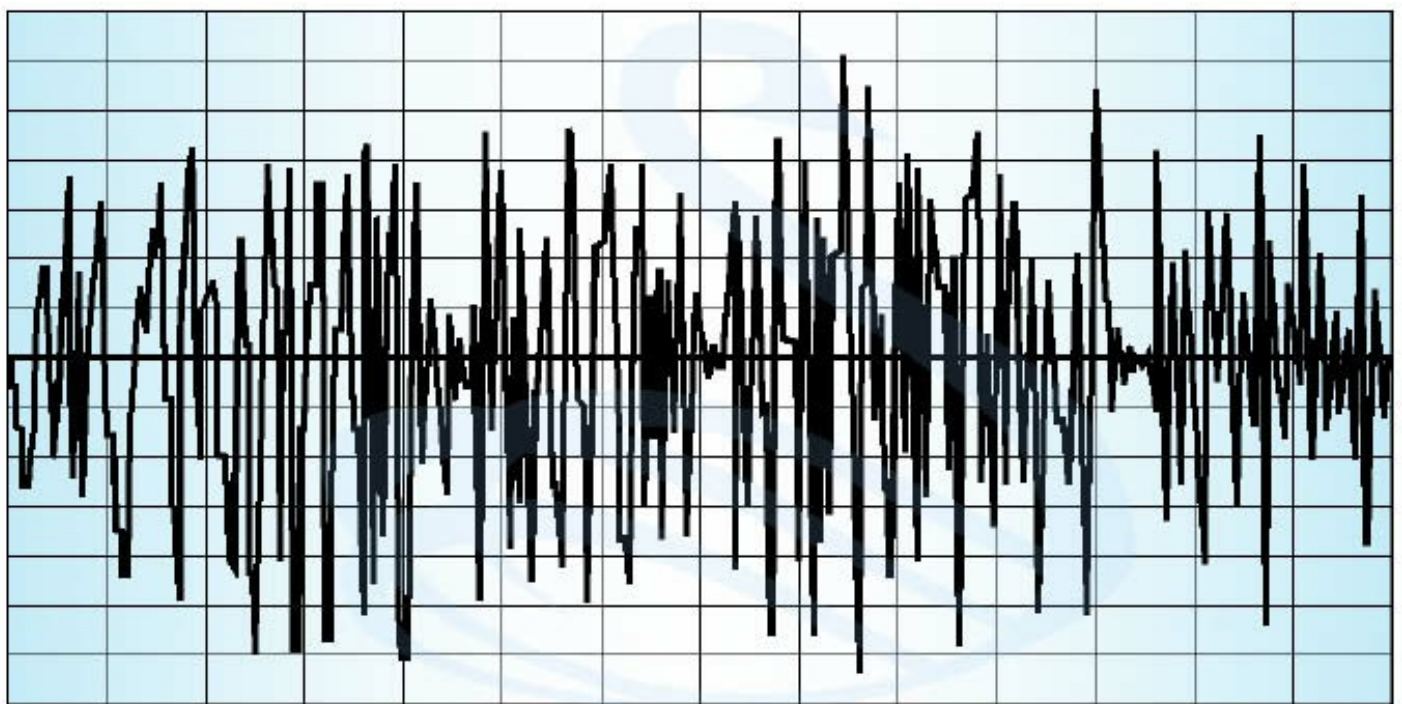


figura 3.8 forma de onda complexa de um típico sinal de áudio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

3.7.3 Onda Quadrada A estas alturas imagino que os leitores recém chegados ao áudio estarão se perguntando o que significa espectro de onda quadrada.

O significado é exatamente o que nos mostra a figura 3.7. Que uma onda quadrada é formada por uma longa série de ondas sinusoidais de harmônicas de ordem ímpar.

Se a frequência fundamental da onda quadrada for F_0 , e se fizermos as contas, encontraremos componentes com frequências $3F_0$, $5F_0$, $7F_0$, e assim por diante.

Nas proporções da tabela 3.2.

FREQUÊNCIA	RELAÇÃO	dB
F_0 (FUNDAMENTAL)	1,270	+ 2,1
$3F_0$ (3ª HARMÔNICA)	0,424	- 7,4
$5F_0$ (5ª HARMÔNICA)	0,255	- 11,9
$7F_0$ (7ª HARMÔNICA)	0,182	- 14,8
$9F_0$ (9ª HARMÔNICA)	0,141	- 17,0
$11F_0$ (11ª HARMÔNICA)	0,116	- 18,7

O que a tabela mostra é que quanto mais a harmônica se afasta da fundamental, menor é sua contribuição para a formação da onda resultante.

Por exemplo, se nossa onda fosse a de um SMPTE Time Code, a frequência seria 2,4 kHz. Sua 11ª harmônica seria 26,4 kHz, e seu nível estaria 18,7 dB abaixo do da fundamental.

3.7.4 Ruídos

Ou seria melhor perguntar, Branco & Preto ou a Cores?

Não. Não estamos falando de televisão, mas de áudio. Melhor seria dizer, de ruídos. Que podem ser brancos, pretos, ou de outras cores. Muitos desses ruídos são muito úteis na acústica e na eletroacústica. Daí o interesse em conhecê-los.

Os ruídos negros são aqueles que só incluem frequências que estão fora do espectro audível para o homem. E nesse sentido, é um tanto ou quanto paradoxal chamá-los de ruídos. Mas não vamos nos perder com isso. Ao contrário, vamos nos concentrar nos ruídos branco e rosa, que são os que de fato usamos em nosso dia a dia.

3.7.4.1 Ruído Branco Ruído branco, ou ruído aleatório, é um tipo especial de ruído que pode ser produzido por um gerador. Por isso mesmo chamado de gerador de ruído branco. O ruído em si é caracterizado por uma distribuição bastante uniforme de energia ao longo de um amplo espectro de frequências. Que inclui o espectro das frequências de áudio.

Se ligarmos a saída de um desses geradores a um analisador de espectro de áudio em tempo real convencional, de 1/3 de oitavas, o displêi do instrumento apresentará algo parecido com o que nos mostra a curva A da figura 3.9.

Nos cursos de áudio que fazemos na Cysne Sound Engineering, sempre que digo que o ruído branco é caracterizado por uma distribuição homogênea de energia pelo espectro, e a seguir mostro a figura que a representa, todos querem perguntar ao mesmo tempo se não estou enganado.

Final, se a distribuição de energia é homogênea, por que o instrumento não nos mostra uma resposta de frequência plana?

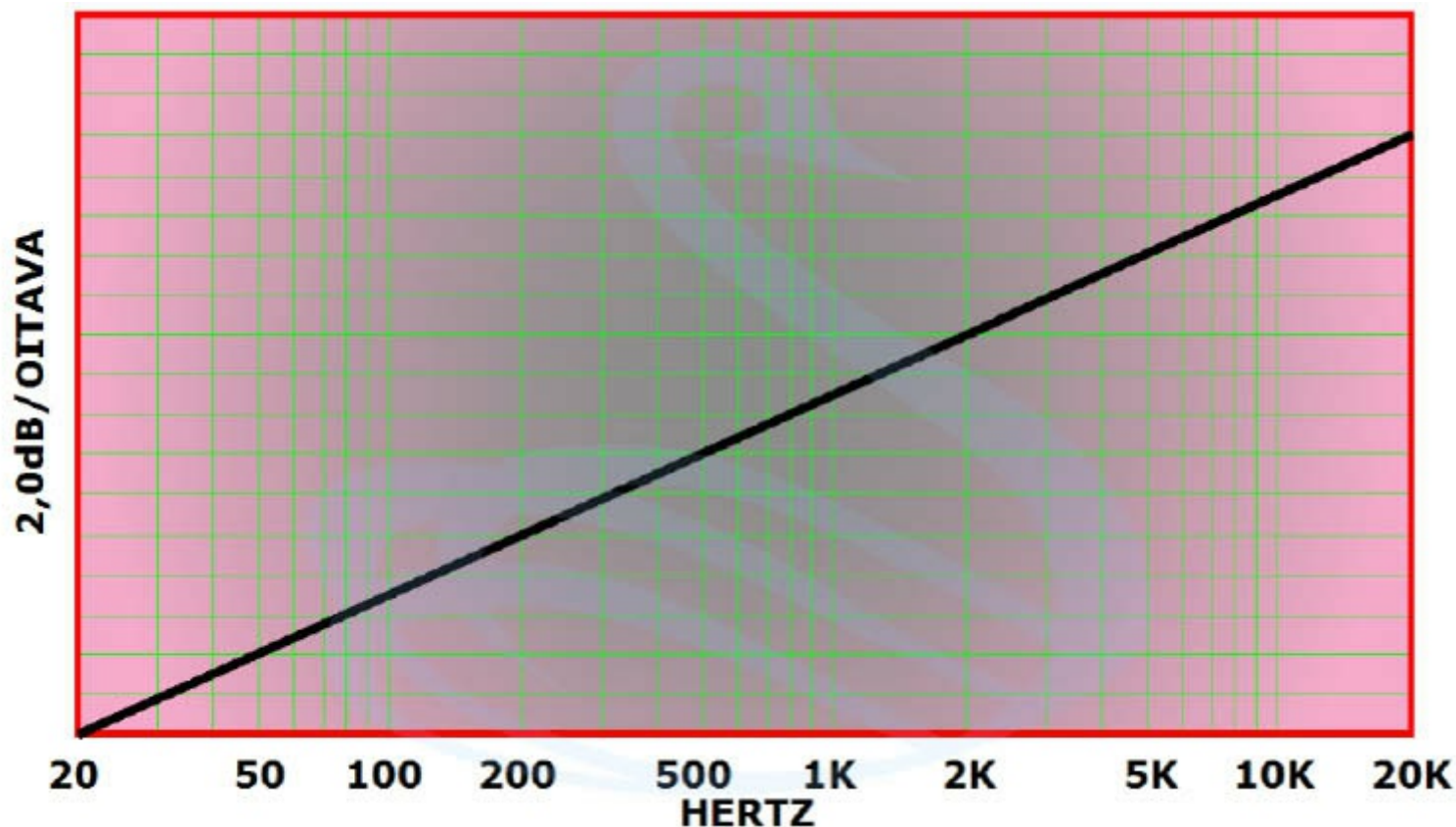


figura 3. 9 ruído branco acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

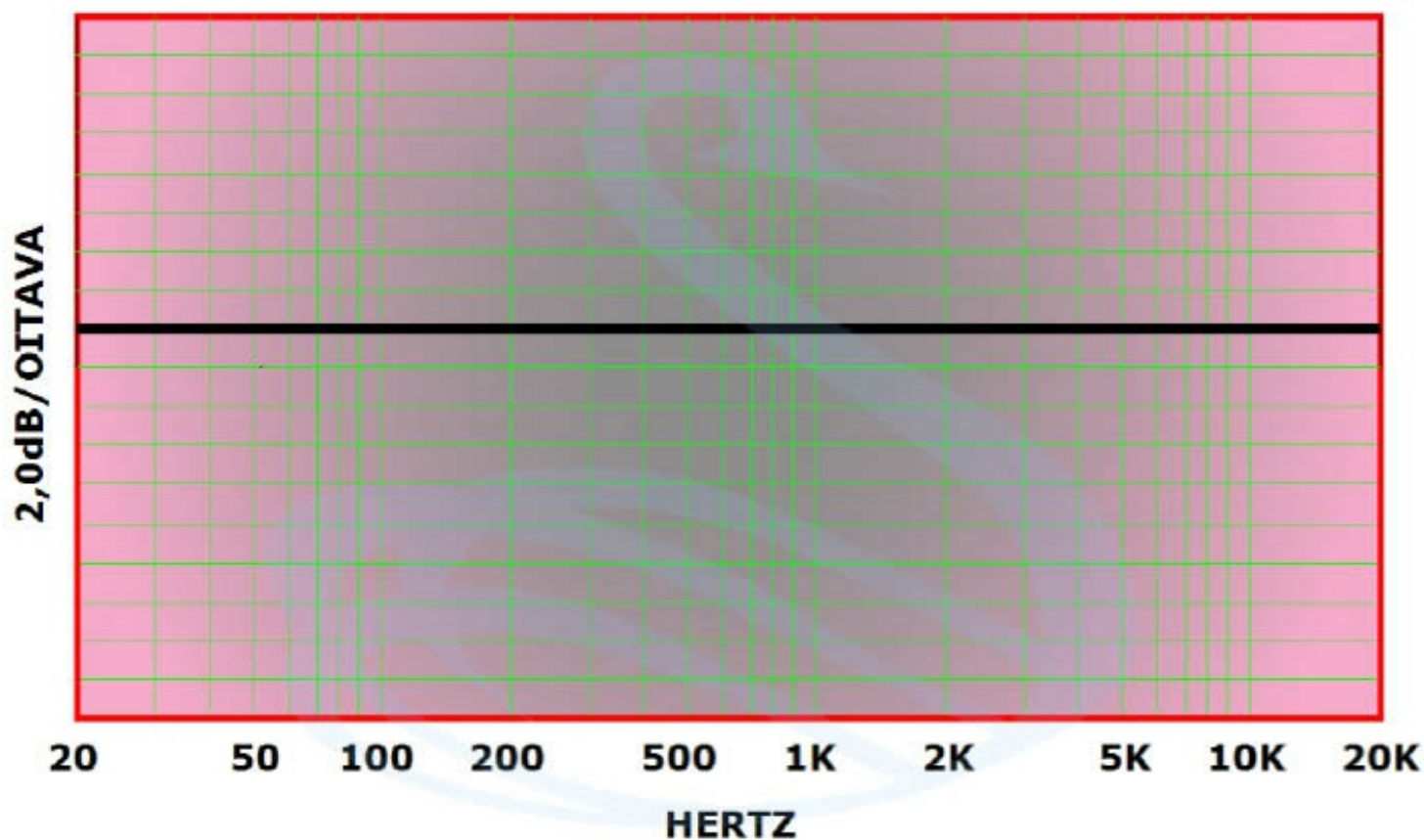


figura 3. 10 ruído branco analisado por um instrumento com filtros com bandas de larguras fixas, ou ruído rosa analisado por um RTA convencional acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Antes de responder a isso, gostaria de mencionar que há muitos tipos de analisadores de áudio. Uma das variedades mais comuns é a dos instrumentos que trabalham com bandas de frequências cujas larguras são fixas.

Mas este não é o caso dos analisadores de espectro com os quais estamos acostumados. Nestes, as larguras das bandas são sempre uma dada percentagem da frequência central do respectivo filtro. Mais detalhes sobre isso podem ser encontrados adiante, no capítulo quarto.

Por ora, basta-nos saber que, num analisador de espectro de 1/3 de oitavas, da variedade comercial, a largura de banda do filtro centrado em 100 Hz é de apenas 23 Hz.

Mas já a largura de banda do filtro centrado em 10 kHz é de 2.300 Hz. Dessa forma, ao interpretar o ruído branco, esse instrumento apenas nos mostrará o óbvio. Que há mais energia nas bandas superiores do que nas inferiores.

Mas além disso, ele também nos mostrará que a taxa de aumento de energia é de 3,0 dB/oitava. Se o mesmo ruído branco fosse analisado por um instrumento construído com filtros com bandas de larguras fixas, a representação seria como mostra a figura 3.10.

O adjetivo *branco* que qualifica o ruído é uma analogia direta feita com a ótica. De fato, a luz branca é um produto da combinação de todas as cores. A faixa mais baixa do espectro visível de cores (maiores comprimentos de onda) é a vermelha. A faixa mais alta é a violeta. E a luz branca se caracteriza por uma distribuição muito uniforme de energia por todo o espectro visível. O que dá o nome ao ruído.

3.7.4.2 Ruído Rosa Se utilizarmos um filtro capaz de introduzir uma atenuação constante de 3,0 dB/oitava na saída do gerador de ruído branco, o displêi de um RTA convencional de 1/3 de oitavas nos apresentará aproximadamente o que nos mostra a figura 3.10. Ou seja, o que convencionamos chamar de uma resposta de frequência plana.

Como o ruído branco, o termo rosa também provém de uma analogia com a ótica. Uma vez que há atenuação progressiva das altas frequências, o conteúdo de energia é maior na região das baixas frequências de áudio. Que em termos óticos seria a região da cor vermelha.

3.8 DIFRAÇÃO

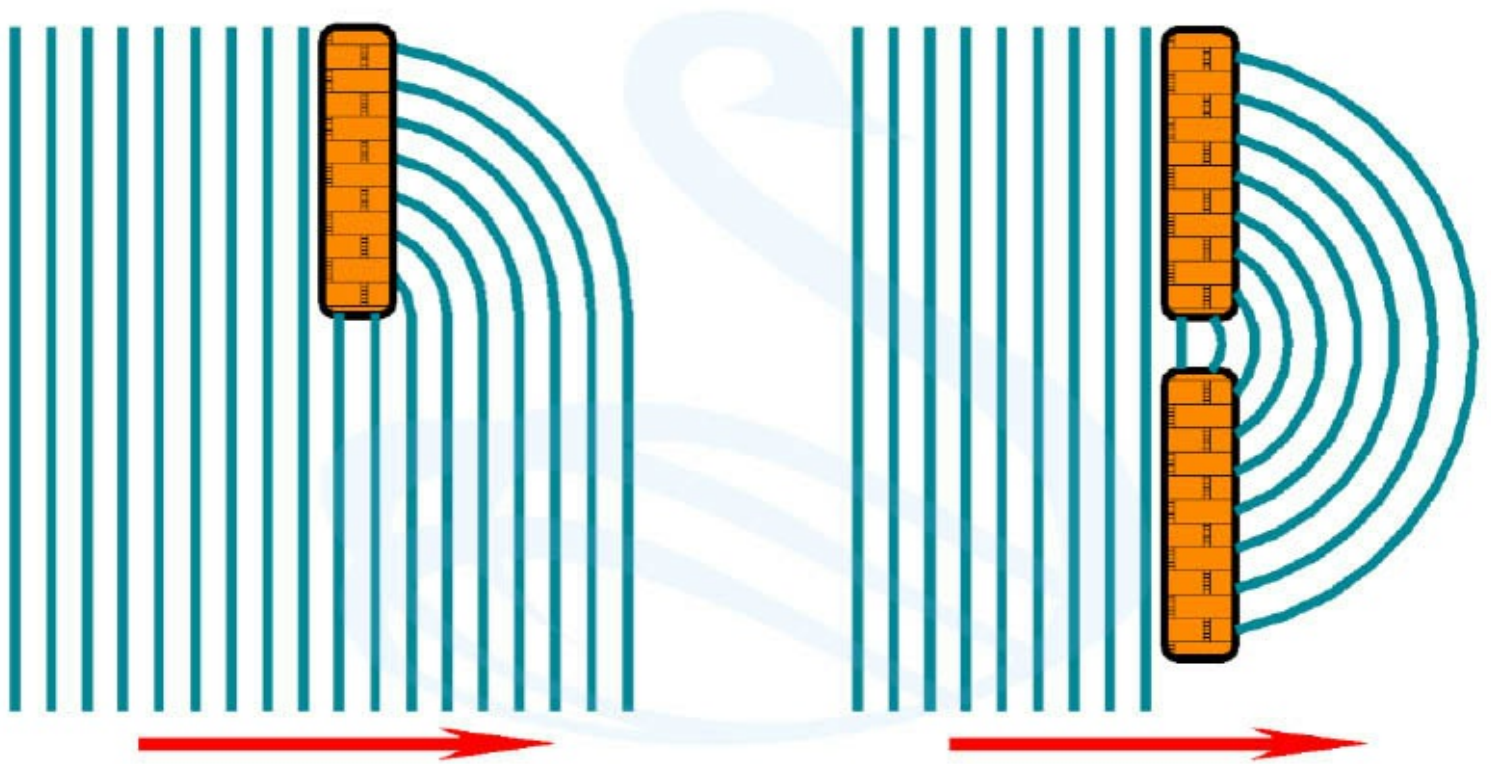


figura 3.11 exemplos da difração dos sons cortesia American Institute of Physics e Cysne Science Publishing Co.

A figura 3.11 mostra dois casos de difração.

Do lado esquerdo da figura, as ondas sonoras encontram uma superfície.

Nota-se que em sua viagem da esquerda para a direita, elas se curvam em volta do canto da superfície.

No lado direito da figura, as ondas encontram um pequeno orifício.

Neste caso aplica-se o princípio de Huygens. Que estabelece que cada ponto da onda sonora transforma-se numa fonte secundária de som.

E o orifício se comporta como um destes pontos, fazendo com que a onda que o atravessa se espalhe hemisfericamente.

O próprio termo difração deve ser intuitivamente entendido como quebrar o todo em frações. No caso da difração acústica, uma boa parte das frações em que o todo é dividido passa a ter um comportamento diferente do que o todo tinha anteriormente.

Essa é a essência do fenômeno.

Assim, quando a onda sonora encontra uma rachadura numa superfície, ela a atravessa e se espalha quase que de modo uniforme.

E quando o obstáculo é o canto de um prédio, a onda sonora o contorna.

Essas mudanças de direção causadas pelo encontro das ondas sonoras com obstáculos são chamadas difração.

A difração pode alterar profundamente a direção e a intensidade do som refletido. O fenômeno é governado pela relação do comprimento de onda do som incidente, e também, pelo tamanho e forma física do obstáculo.

3.9 QUANDO O SOM INCIDE NUMA SUPERFÍCIE

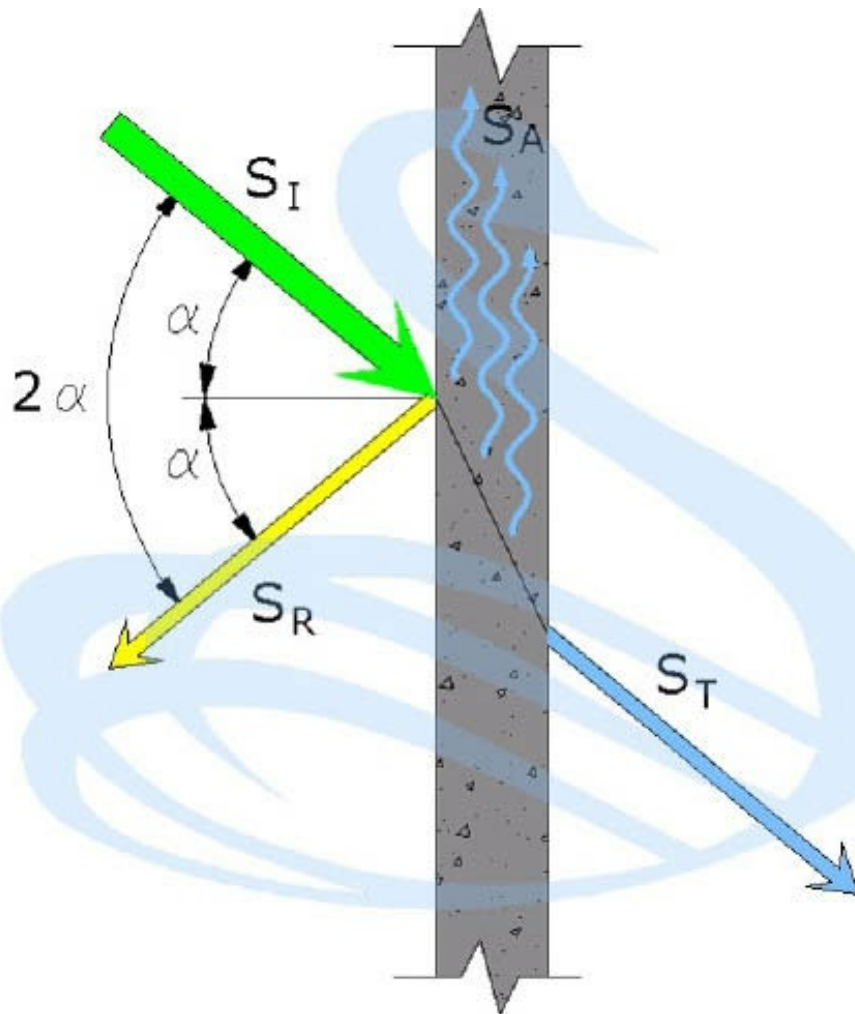


figura 3.12 onda incidente, onda refletida, parcela absorvida e onda refratada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 3.12 é um modelo didático e clássico, muito empregado no estudo da acústica. Ela mostra uma superfície sobre a qual incide uma onda sonora (S_I) fazendo um ângulo (α) com a normal à superfície.

Uma parcela da onda incidente é refletida (S_R), fazendo o mesmo ângulo (α) com a normal à superfície.

Uma outra parcela da onda incidente (S_A) é absorvida e transformada em calor. E ainda há uma parcela da onda incidente que é transmitida (S_T) através da superfície para o outro lado, após sofrer refração acústica.

3.9.1 Reflexão

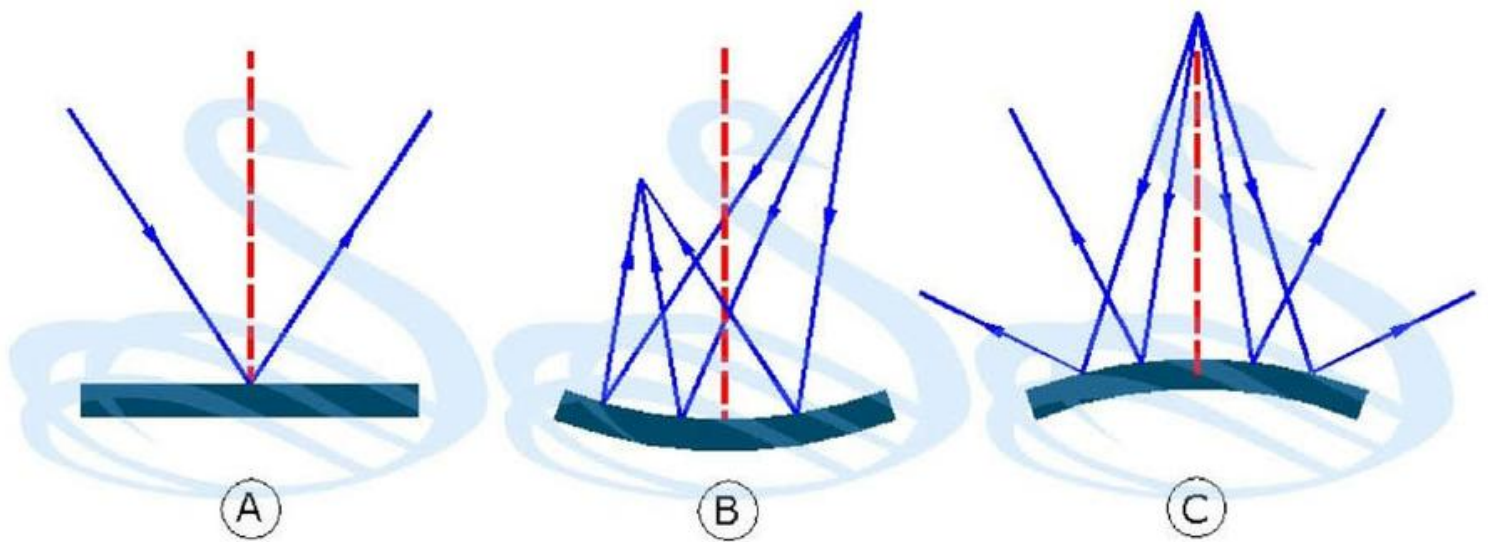


figura 3.13 formas de reflexão em superfícies plana e curvas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A lei clássica da reflexão acústica estabelece que o ângulo de reflexão é exatamente igual ao ângulo de incidência.

A figura 3.13.A representa uma típica reflexão em superfície plana. As figuras 3.13.B e 3.13.C mostram reflexões em superfícies curvas.

Como se pode notar, reflexões em superfícies côncavas tendem a promover a concentração das ondas refletidas. Que é o contrário da difusão.

Por isso, muitas vezes a existência de grandes superfícies côncavas num ambiente é o motivo principal de comportamentos acústicos desfavoráveis. Por outro lado, como as superfícies convexas “espalham” as ondas refletidas, muitos estúdios, salas de gravação e outros recintos nos quais a acústica é importante, usam painéis cilíndricos convexas como parte de sua estrutura, objetivando a obtenção de campo acústico difuso.

3.9.2 Absorção

A absorção dos sons é um fenômeno que nos habituamos a presenciar desde que nos damos por gente. É parte de nosso cotidiano. Sem saber bem porque, mas intuitivamente, as pessoas forram suas salas de música com cortiça, embalagens de ovos, e outros tantos materiais, imaginando que a medida vai absorver sons. O que é verdade. Mas no campo profissional, trabalhos realizados com esse grau de simplicidade, e sem qualquer critério técnico, costumam trazer resultados amargos.

Para evitar isso, logo adiante vamos entrar nos detalhes da absorção. Entretanto, é importante que você entenda desde já que, em maior ou menor grau, todos os materiais absorvem uma parcela do som que neles incide. Inclusive seres humanos, adornos, enfeites, e assim por diante.

3.9.3 Refração

O que se chama de refração é o fenômeno caracterizado pela mudança de direção na

propagação dos sons, provocada pela diferença das naturezas dos meios de transmissão.

Assim, quando os sons passam de um meio de propagação para outro, pode ou não haver refração.

Se a densidade dos meios de propagação for a mesma, a velocidade de propagação não será alterada, e então não haverá refração. Entretanto, quando as densidades dos meios são diferentes, há mudança de velocidade de propagação. E consequentemente, refração dos sons.

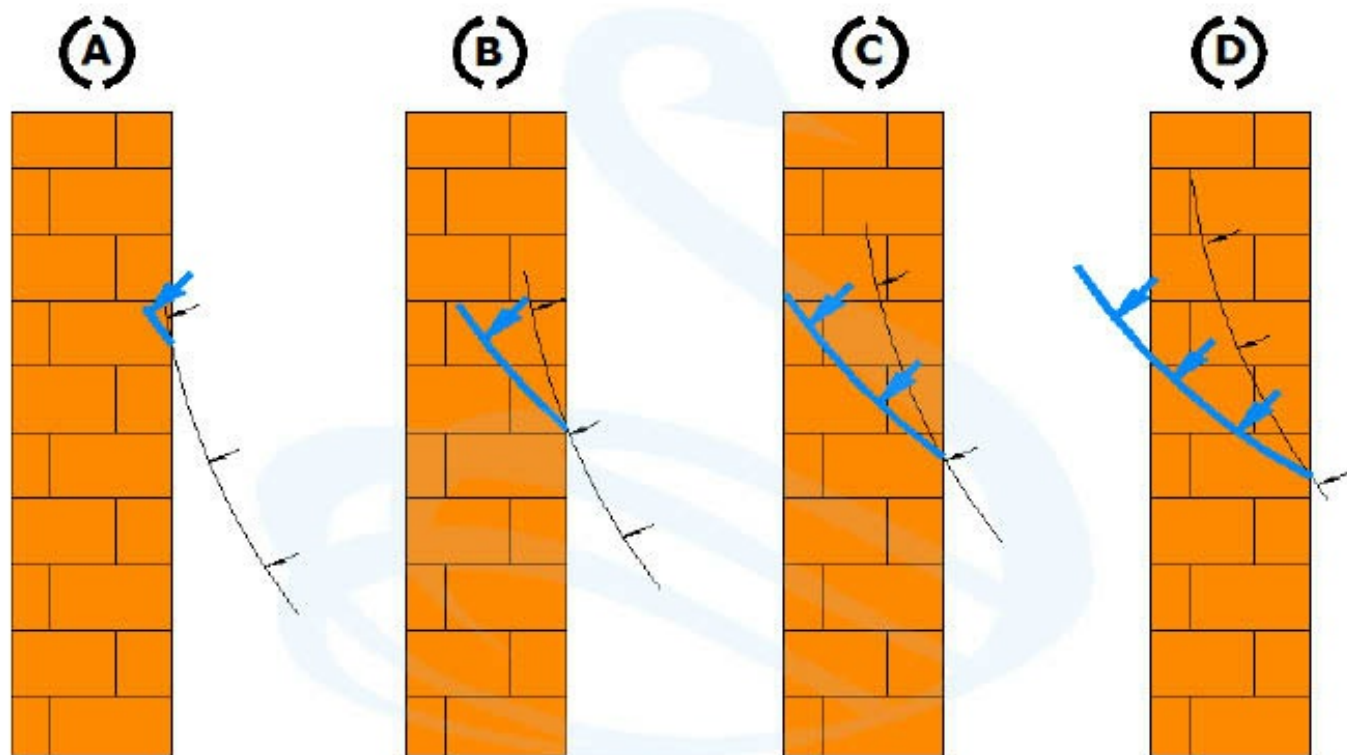


figura 3.14 ilustração de refração causada pela passagem de um meio para outro, mais denso acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 3.14 ilustra a refração de uma onda de som que passa de um meio menos denso para outro, mais denso.

Vamos fazer uma análise para investigar qual é a razão real da refração.

Na figura 3.14.A, apenas a parte superior da onda já entrou no meio mais denso. Se a velocidade do som nesse meio mais denso fosse a mesma que a do meio menos denso, ela poderia ser representada pela seta fina, e a onda incidente não alteraria sua forma original.

Desse modo, não haveria mudança na direção de propagação. Mas como a velocidade do som é maior nesse meio mais denso, como representa a seta mais espessa, há deformação na forma da onda incidente. Como mostra a figura, a parte da onda que já penetrou no meio mais denso caminhou mais rápido do que caminharia se os meios tivessem a mesma densidade. E esta parte da onda adquire o aspecto rotacionado da figura.

Na figura 3.14.B, uma outra parte da onda já entrou no meio mais denso, e pela mesma razão anterior, toda a parte que já penetrou no meio mais denso torna-se rotacionada. Já na figura 3.14.C, praticamente toda a onda passou para o meio mais denso, e a direção rotacionada começa a ficar bem mais clara.

Até que na figura 3.14.D, toda a onda já está mergulhada no meio mais denso. E agora a

mudança de direção é evidente.

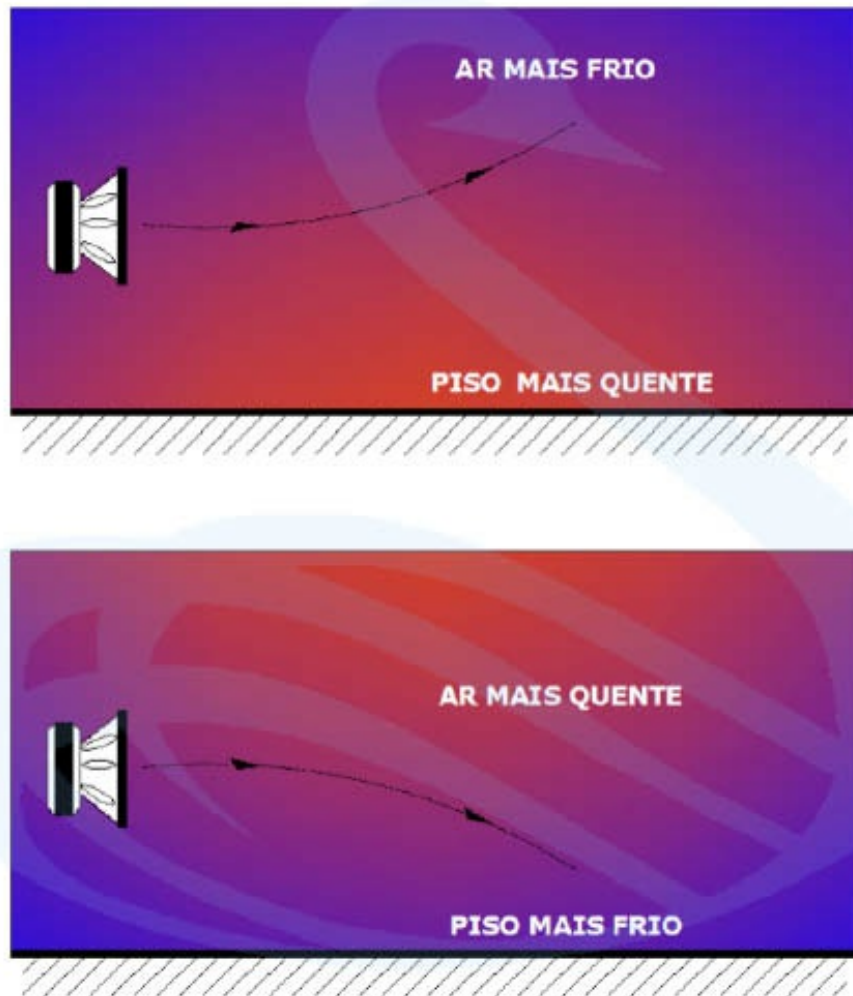


figura 3.15 exemplo de refração dos sons ao ar livre acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O processo inverso ocorre quando a onda passa de um meio mais denso para outro, menos denso.

Pelo que vimos, quando o som vem se propagando pelo ar até encontrar uma superfície sólida, que é atravessada, e torna a se propagar pelo ar, como na figura 3.12, a dupla refração é certa.

Mas esta não é a única forma de refração.

Já vimos que a velocidade de propagação dos sons no ar aumenta com a temperatura.

Imagine então um cenário muito comum no cotidiano de alguns engenheiros de áudio. Um local aberto, no qual a temperatura do piso é, digamos, 45°C. A estação é o outono, e a temperatura do ar é de 24°C.

Desse modo, se colocarmos sobre o piso uma caixa acústica produzindo sons, com seu eixo principal orientado numa direção paralela à da pista, seria de se esperar que os sons também se propagassem numa direção paralela à pista. Contudo, isso não ocorre por força da mudança na velocidade dos sons, que irá variar de acordo com as variações da temperatura do mesmo meio, que no caso é o ar. E a propagação não se dará em linha reta, mas em curva, como mostra a figura 3.15.

3.9.4 Transmissão A figura 3.12 não deixa margem para dúvidas. Os sons efetivamente são

capazes de atravessar paredes. Bem, eles podem atravessar praticamente quaisquer outras estruturas. É isso que se chama de transmissão dos sons através das estruturas. No item a seguir discutimos detalhadamente como se dá essa transmissão de sons.

3.10 COMO OS SONS SÃO TRANSMITIDOS

3.10.1 Através das Estruturas 3.10.1.1 Efeito Diafragmático e Perda de Transmissão A figura 3.12 nos mostra o que acontece quando os sons encontram uma superfície, ou um obstáculo físico qualquer. Vimos que a parcela refletida é na verdade uma parcela do som incidente que acaba sendo transmitida através do obstáculo.

Muitos imaginam que se construirmos uma cabine absolutamente hermética, e produzirmos som em seu interior, então não haverá transmissão de som para o exterior. O que não é verdade.

Pense numa cabine telefônica ideal. Quando você entra e fecha a porta especial, a hermetização total é obtida. Esse ambiente estanque se constitui num obstáculo que realmente acaba dificultando a propagação dos sons internos para o exterior da cabine, e vice-versa. Mas os sons não são totalmente bloqueados pelos obstáculos físicos. Apenas atenuados.

A intensidade da parcela de som transmitida através de uma superfície depende muito da massa e da densidade da superfície na qual os sons incidem.

De fato, com a incidência dos sons, os obstáculos são postos a vibrar. E passam a se comportar como diafragmas, transformando-se em fontes secundárias de som. Por razões óbvias o efeito é chamado ação diafragmática. Os sons assim transmitidos são principalmente de baixas frequências.

O efeito diafragmático é tão mais verdadeiro quanto menos massa têm os obstáculos. E ainda, quanto menor a massa, mais altas as frequências que são transmitidas.

Isso ocorre porque quanto maior é a densidade de uma estrutura, maior é sua dificuldade natural para entrar em vibração.

Logo, quanto maior é a densidade de qualquer estrutura, geralmente melhor é seu comportamento como isolante acústico. Ou seja, maior sua facilidade para evitar a transmissão de som através de si própria.

O que se chama de perda de transmissão é a atenuação que uma superfície impõe à passagem dos sons. Podemos dizer que o valor específico da perda de transmissão depende essencialmente da natureza construtiva e estrutural do obstáculo.

Se uma pessoa absolutamente leiga em acústica, e que mora num apartamento daqueles que dá diretamente para uma dessas famigeradas e muito ruidosas vias expressas elevadas, tiver que resolver por si própria o problema de ruído em sua casa, provavelmente não descartará a

hipótese de aumentar a espessura da parede que separa seu apartamento da poluição acústica.

Claro. Isso é algo intuitivo para todos nós. Quando pensamos numa parede maciça, deve parecer natural que quanto maior for sua massa física, mais elevada será a perda de transmissão. O que é correto. A expressão 3.5 mostra em que medida

$$PT = 14,5 \cdot \log \frac{M \cdot f}{4,88} \quad (3.5)$$

onde:

- PT é a perda de transmissão expressa em dB
 - M é a densidade da superfície em kg/m², e
 - f é a frequência em Hz
- Embora esta seja uma expressão derivada empiricamente, através dela podemos obter figuras com aproximação aceitável.

A expressão também confirma outra coisa que já poderia ser esperada. Que a perda de transmissão aumenta com a frequência. O significado prático disso é que é tão mais difícil isolar os sons quanto mais baixas são suas frequências.

A perda de transmissão das superfícies costuma ser determinada experimentalmente.

Empregam-se duas salas (câmaras reverberantes) contíguas, separadas entre si por uma janela. Que pode ser aberta e lá colocado o material ou estrutura em ensaio.



figura 3.16 ilustração do processo de medição de perda de transmissão em câmara reverberante cortesia Brüel e Kjaer Numa das salas é gerada e aferida uma certa pressão sonora. E também afere-se a pressão que dela resulta, na outra. A diferença em decibels é a perda de transmissão, ou capacidade de isolamento dos sons do material em ensaio. A prova geralmente é feita para diferentes frequências, com o que é possível avaliar a perda de transmissão ao longo do espectro de frequências.

A figura 3.16 ilustra o arranjo.

3.10.1.2 Classe de Transmissão de Ruídos (STC) Neste momento quero voltar à figura 3.16.

Vamos imaginar juntos uma situação de teste de Perda de Transmissão de Som de um determinado material. Então, após ter instalado o material na janela de teste com a hermetização necessária, geramos ruído rosa no cômodo do lado esquerdo enquanto fazemos as medições espectrais nos dois cômodos. Para isso, nos valem de dois RTAs – analisadores de espectro em tempo real.

Devemos anotar as duas medições.

Vamos supor que essas duas medições resultem como nos informa a figura 3.17.

A reta vermelha representa o ruído rosa medido na sala esquerda. Note que ele foi ajustado para leitura de 70 dB SPL em todas as bandas consideradas.

Já a curva preta representa a leitura feita no cômodo da direita. Portanto, a subtração banda a banda das duas medições corresponde precisamente à Perda de Transmissão de Som do material.

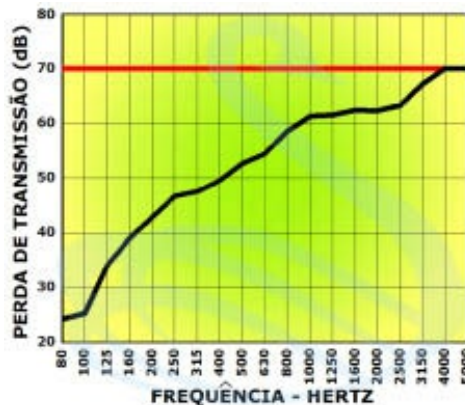


figura 3.17 ruído rosa e medição de PT espectral acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É o que nos mostra graficamente a figura 3.18.

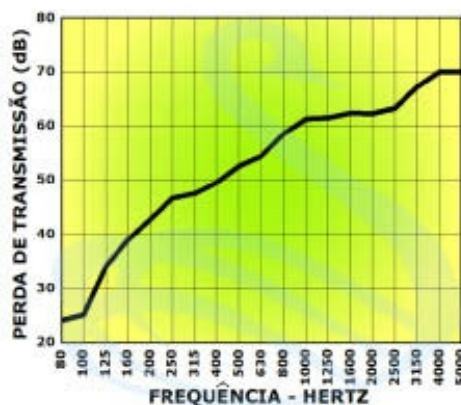


figura 3.18 PT espectral do material considerado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Muitos engenheiros de acústica se valem de informações como essas para processar seus cálculos e desenvolver projetos de isolamento acústico. Claro que podemos tomar os dados de cada banda considerada e apresenta-los em forma de tabela. Os dados continuam a ser os mesmos.

Entretanto, muitos especialistas entendem que essas informações são demasiadas detalhadas e preferem lidar com dados mais diretos.

Em razão de uma demanda muito consistente nesse sentido os norte-americanos pensaram em simplificar as coisas para mais facilidade de consulta. A fórmula deveria resumir as

informações da figura C sintetizando-as num número único.

Evidentemente, essa figura sui generis teria que ser bem representativa da Perda de Transmissão dos materiais.

Assim foi criado o índice STC, acrônimo para Sound Transmission Class.

Vejamos então o que é o índice STC e como chegar a ele. Inicialmente foi estabelecido um contorno padrão, que foi baseado em muitos fatores, o mais importante deles é a sensibilidade dos ouvidos humanos. Esse contorno pode ser derivado a partir das informações constantes da tabela 3.3.

Tabela 3.3 – STC – Sound Transmission Class (Classe de Transmissão de Ruídos)

Hz	dB	Hz	dB
125	-16	800	+2
160	-13	1000	+3
200	-10	1250	+4
250	-7	1600	+4
315	-4	2000	+4
400	-1	2500	+4
500	0	3150	+4
630	+1	4000	+4

As frequências indicadas em Hz na tabela são as frequências centrais de bandas de 1/3 de oitava, porquanto as colunas com o título dB informam as características de atenuação ou de reforço das bandas cobertas pelo próprio contorno, que vão de 125 Hz a 4 kHz.

Observe que a referência é 500 Hz. Se plotarmos esse contorno num gráfico de energia x frequência teremos algo como mostra a figura 3.19.

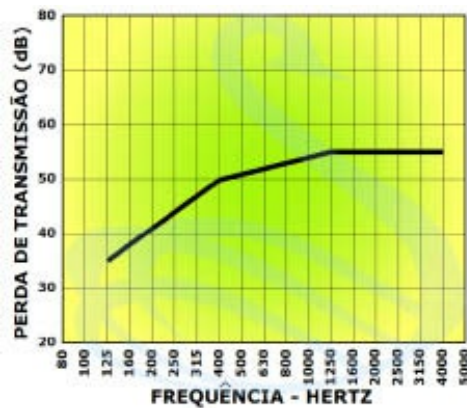


figura 3.19 contorno STC padrão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma vez conhecido esse contorno e tendo em mãos os dados da PT de um dado material, já temos como estabelecer seu índice STC. Para tanto basta comparar no mesmo gráfico o contorno padrão STC e os dados de PT espectral do material.

Nessa comparação, o contorno padrão pode ser deslocado verticalmente no gráfico de modo a que sejam observadas algumas regras, que são: • regra 1 – identificam-se as bandas de 1/3 de oitava com “deficiências”, sendo que para essa finalidade “deficiências” são

consideradas os pontos em que as figuras medidas ficam abaixo do contorno STC padrão. A magnitude da deficiência é a diferença direta entre o valor medido e o valor do contorno padrão, estabelecida em dB.

- regra 2 – não podem ser computados como “créditos” diferenças resultantes de valores medidos que se situam acima do contorno STC padrão
- regra 3 – soma-se todos os valores das deficiências, chegando a um resultado em decibel.

- regra 4 – desloca-se o contorno padrão verticalmente no gráfico até que sejam satisfeitas as duas condições seguintes: - **condição 1 – a soma de todas as deficiências não pode exceder 32,0 dB**

- **condição 2 – nenhuma deficiência individualmente considerada pode exceder 8,0 dB**

- regra 5 - estabelecidas essas duas condições considera-se como índice STC do material em questão o valor do contorno padrão na banda cuja frequência central é 500 Hz.

Para mais detalhes sobre o índice STC basta procurar o documento ASTM E413-87, aprovado em 1994, elaborado pelo subcomitê E33.03 que, com seus documentos associados, estabelece os procedimentos para se chegar aos índices STC em laboratório.

Vamos praticar com um exemplo, lembrando apenas de uma outra regrinha.

Se começamos a comparação com uma posição do contorno padrão muito elevada, provavelmente teremos a quebra de uma ou das duas condições acima referidas. Passo seguinte é deslocar o contorno para baixo.

Pois bem, esse deslocamento deve ser feito em pequenos passos de 1,0 dB até que as duas condições tenham sido satisfeitas.

Entretanto, se no início da comparação o contorno padrão estiver muito baixo, a tendência é que as duas condições sejam satisfeitas com muita “folga”.

Então, o que é preciso fazer é deslocar o contorno padrão para cima, a fim de reduzir as “folgas” e contê-las dentro das duas condições.

Seja o material hipotético que usamos anteriormente como exemplo e seus dados de Perda de Transmissão. Como na figura 3.18.

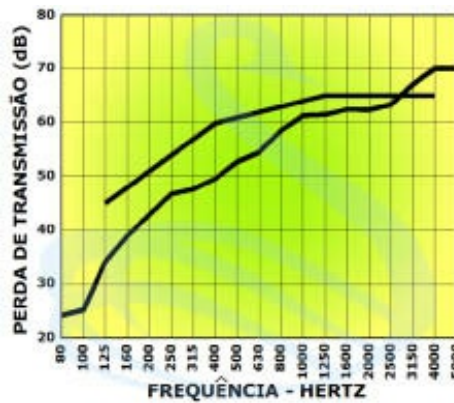


figura 3.20 PT do material e contorno STC padrão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 3.20 além dos dados da PT do material, temos também com o contorno STC padrão.

Fazendo as contas com as deficiências vemos imediatamente que o total ultrapassa muito os 32,0 dB.

Então vamos deslocar o contorno STC padrão para baixo, em passos de 1,0 dB e fazer as contas a cada deslocamento, até que tenhamos chegado ao que mostra a figura 3.21.

Agora, nossas duas condições estão plenamente satisfeitas.

O índice STC do material é 56, já que esse é o valor do contorno padrão na frequência de 500 Hz.

Devo observar que a limitação da banda coberta pelo índice STC, de 125 Hz a 4 kHz, deve-se ao fato de que originalmente este índice foi concebido para mostrar o desempenho do isolamento acústico dos materiais para reduzir sons correspondentes à fala humana e de ruídos que lhes eram equivalentes em banda, tais como ruídos característicos que são usualmente encontrados em residências.

Ou seja, o STC foi originalmente imaginado para uso como base em projetos de residências convencionais.

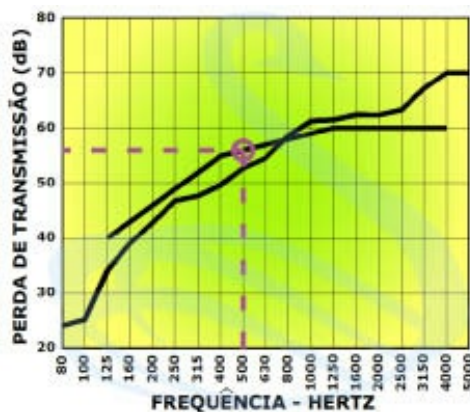


figura 3.21 contorno STC padrão e PT do material ajustados para que as regras não sejam transgredidas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isso significa que o índice STC dos materiais não é adequado para orientar projetos de isolamento de outros sons que não os falados, a exemplo de música, que é o que mais nos interessa, e outros como ruídos de aeronaves, de tráfego de veículos e tantos outros.

Para tanto é fundamental contar com dados de Perda de Transmissão nas frequências mais baixas, não cobertas pelos índices STC.

índice RW

Este índice é a versão europeia do STC.

As principais diferenças são as bandas cobertas pelos índices que, no caso do RW vai de 100 Hz a 3150 Hz. Ainda com 16 bandas de 1/3 de oitava.

As normas aplicáveis são a ISO 717-1 ed 1 1982 e ISO 717-1 ed 2 de 1996.

O contorno e as regras utilizadas são em tudo semelhantes ao que discutimos para o índice STC.

3.10.1.3 Capacidade de Isolação de Ruídos das Várias Estruturas Pois bem, acabamos de ver o conceito por trás da Perda de Transmissão das estruturas. Desse modo, considero que este é um excelente momento para dar início a uma discussão que entra no mérito da mesma questão, mas considerando, agora, a constituição física das estruturas.

O que se observa na prática são dois aspectos até bastante intuitivos de como as coisas ocorrem no mundo real. Isto é, quanto mais espessa construímos uma parede, maior tende a ser sua Perda de Transmissão. O outro aspecto é que a capacidade de isolamento acústico tem de a ser tão mais difícil quanto mais baixas são as frequências.

Pois bem, essas duas constatações acabaram sendo muito pesquisadas e deram origem a uma expressão que as condiciona matematicamente.

É precisamente o que nos mostra a expressão 3.5.

Entretanto, essa expressão não é de aplicação universal nem ilimitada. O motivo é que a constituição física das estruturas impõe um comportamento de Perda de Transmissão que não é linear para todo o espectro de áudio. Como essa é uma questão meramente física, essas alterações de comportamento ocorrem para quaisquer estruturas, apenas variando de um para outro parâmetro tais como intensidade e regiões do espectro.

Suponha inicialmente que tenhamos construído uma parede de metal usando uma chapa relativamente espessa. Digamos, dez centímetros. Nossa parede é suportada por calços de neoprene em todo o perímetro.

Suponha que então tomemos uma marreta muito pesada e batamos com ela bem no centro da parede. Imediatamente a parede metálica começará a vibrar. E essas vibrações produzem som.

Chama-se efeito diafragmático, já que a parede se comporta como um diafragma. Se preferir, como a pele de um bumbo ou tambor.

Assim que a marreta encontra a parede começam as vibrações mecânicas. Precisamente no ponto de encontro da marreta com a parede. Então, essas vibrações se propagam do centro da parede para as partes periféricas.

O som produzido será máximo quando as vibrações forem tais que o centro da parede atinja o maior deslocamento físico possível.

Na sequência, as vibrações periféricas são refletidas de volta para o centro da parede e passam por ela. Evidentemente, após um certo tempo todas as vibrações acabam se combinando produzindo maneiras de vibração que podem ser esquematizadas como sugere a figura 3.22.

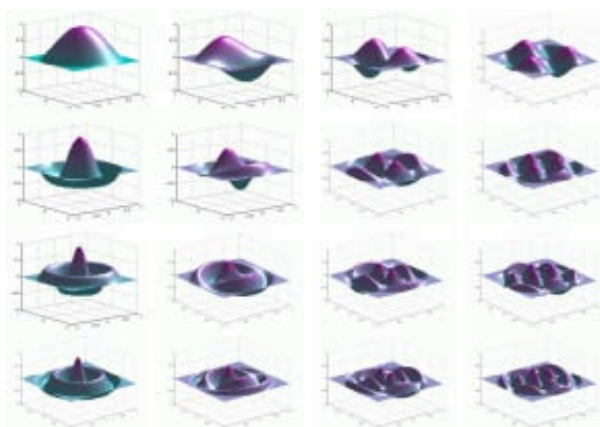


figura 3.22 diferentes modos de vibração de um diafragma retangular acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O que influencia cada um desses modos de vibração?

A própria característica física da estrutura, notadamente sua massa e a maneira como ela é suportada por todo o seu perímetro.

Neste ponto quero chamar sua atenção para o fato que essas vibrações ocorrem, inicialmente, numa frequência determinada, denomina frequência de ressonância fundamental. Tal como ocorre com um instrumento musical de percussão.

Portanto, abaixo dessa frequência não se aplica o que falamos até aqui.

Muito bem. Então o que se aplica?

Se massa e as características do suporte são parâmetros relacionados com a frequência de ressonância, certamente não são eles.

Resta então a rigidez estrutural da parede. Aí está.

Assim como um woofer ter dificuldade de vibrar em frequências mais elevadas, mais ou menos o mesmo ocorre com a parede. Isto, na região das frequências inferiores à frequência de ressonância fundamental.

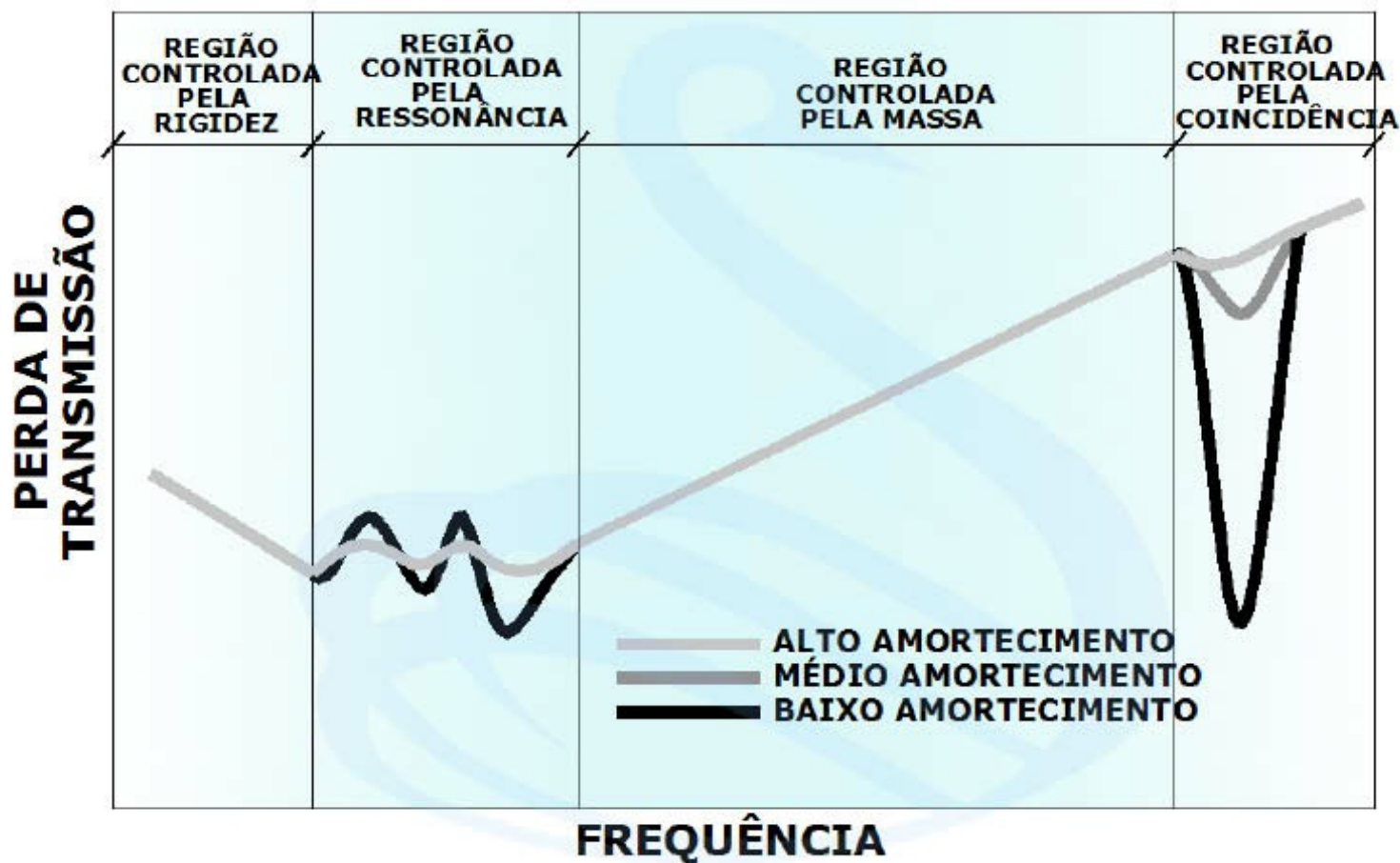


figura 3.23 comportamento típico de uma barreira de som acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isto é o que mostra a figura 3.23. Observe que o eixo das frequências é dividido em quarto partes. A parte mais à esquerda da figura é denominada “região controlada pela rigidez”.

Isto é, nessa região o movimento da parede é controlado predominantemente pela rigidez do material. Por essa razão, nessa região a Perda de Transmissão não aumenta com a frequência, como preconiza a expressão 3.5. Ao contrário, a Perda de Transmissão diminui com o aumento da frequência. Pelas razões apontadas anteriormente. Ao que vale dizer que nessa primeira região a massa física da estrutura em questão, bem como seu amortecimento, não contam muito do ponto de vista de Perda de Transmissão.

A segunda região, denominada região controlada pela ressonância, é onde ocorre a frequência de ressonância fundamental e algumas outras frequências de vibração estrutural, todas caracterizando os modos representados na figura 3.22.

São exatamente essas vibrações que ocorrem à semelhança de um diafragma. Portanto, produzindo som por efeito diafragmático.

No caso do exemplo citei batermos com uma marreta na parede. Na prática não é preciso nenhuma marreta. Pois as ondas sonoras que naturalmente incidem nas paredes são o suficiente para produzir as vibrações. Se tiver dúvida sobre isso, na próxima vez que tiver a oportunidade não deixe de encostar as pontas de seus dedos numa parede sujeita ao impacto de ondas sonoras de certa monta. Você sentirá as vibrações.

Gosto de considerar essa segunda região um segmento de transição, que caracteriza a passagem de uma região onde a Perda de Transmissão diminui com a frequência para a terceira

região, na qual a Perda de Transmissão aumenta com a frequência.

Nessa terceira região a Perda de Transmissão é predominantemente controlada pela massa da estrutura. Essa é, pois, a região na qual se aplica integralmente a expressão 3.5. Portanto, trata-se de um segmento do espectro no qual a previsibilidade da Perda de Transmissão é elevada e precisa.

Essa região prossegue até encontrar a quarta região, denominada região controlada pela coincidência.

Vejamos bem o que é isso.

Na região governada pelo efeito coincidência verifica-se um fenômeno que ocorre quando o comprimento de onda do som incidente coincide com o comprimento de onda das flexões naturais de vibração da superfície. Portanto, para uma determinada frequência e ângulo de incidência dos sons, as oscilações da superfície acabam sendo muito amplificadas. Como resultado a energia é transmitida de um para outro lado da estrutura com atenuação praticamente desprezível. Trata-se de um ponto onde a Perda de Transmissão é consideravelmente reduzida. Por vezes, nula.

Em geral os sons incidentes numa superfície são de espectro amplo, e os ângulos de incidência são todos os possíveis. Por isso, o efeito coincidência pode ser entendido como se fosse um “buraco acústico”. Que felizmente só permite a passagem de uma banda muito estreita de frequências.

A natureza do fenômeno dá origem ao termo vale coincidente. Como bem ilustra a figura 3.23. A figura também sugere que esse fenômeno ocorre sempre na parte mais alta do espectro.

Isso posto, devemos ter em mente que as Perdas de Transmissão das paredes constituem um dos fatores mais importantes e mais empregados para a obtenção da atenuação dos ruídos provenientes de ambientes adjacentes, abertos ou fechados. Às vezes, esses recursos são os únicos disponíveis. O que se aplica não só às paredes verticais, mas também a forros e pisos das construções.

A tabela 3.4 mostra as Perdas de Transmissão de alguns vidros laminados compostos.

Tabela 3.4 - cortesia Signa System Inc.

Hz, banda de 1/3 de oitava	Perda de Transmissão (dB) para vidros de várias espessuras											
	4/14/4		6/12/6		6/12/6,4		10/12/4		10/12/6		10/12/604	
100	25		17		19		23		27		27	
125	24	24	26	20	24	21	28	25	27	26	28	27
160	23		22		21		26		24		26	
200	21		18		19		19		24		26	
250	19	20	18	19	19	20	23	22	29	27	30	29
315	22		24		24		26		31		32	
400	25		27		28		31		33		34	
500	30	25	29	29	32	32	33	33	34	34	36	36
630	30		33		34		36		37		40	
800	33		37		38		41		39		41	
1000	36	35	39	38	40	39	41	40	41	40	42	41
1250	38		39		40		41		41		41	
1600	40		39		39		45		39		41	
2000	41	38	34	36	35	37	45	43	37	38	42	42
2500	35		37		39		45		40		44	
3150	31		42		44		42		43		49	
4000	40	35	47	45	49	47	44	44	47	46	53	52

Se você precisar de mais informações como as dessa tabela, ou mesmo outras mais completas, não terá a menor dificuldade em encontrar informações na Internet e junto aos fabricantes de barreiras acústicas, entre muitos outros.

Permita-me voltar a um ponto que vimos anteriormente.

Se aumentamos a massa de uma estrutura podemos aumentar sua Perda de Transmissão. OK! Então, vejamos o que ocorre se duplicarmos a massa de uma estrutura qualquer.

Vamos imaginar que nossa estrutura original tem densidade superficial de 20 kg/m². Usando a expressão 3.5 podemos calcular para a frequência de 500 Hz:

$$PT = 14,5 \cdot \log (20 \cdot 500 / 4,88) = 48,01 \text{ dB}$$

Imaginemos agora que resolvemos duplicar a espessura dessa estrutura, com o que a densidade superficial aumenta para 40 kg/m². Recalculando:

$$PT = 14,5 \cdot \log (40 \cdot 500 / 4,88) = 52,38 \text{ dB}$$

Vemos então que se duplicamos a espessura e densidade superficial de uma estrutura, como uma parede, o incremento da Perda de Transmissão é pouco superior a 4,0 dB. Mais precisamente, 4,37 dB.

Este é precisamente meu ponto de partida para desencadear um raciocínio para o qual gostaria de sua companhia.

A figura 3.24 esquematiza uma parede de ¼ de tijolo. Também chamada de aparelho cutelo e de aparelho alto.

Empregando tijolos convencionais, a espessura mais comum dessas paredes é da ordem de 5 a 6 centímetros.

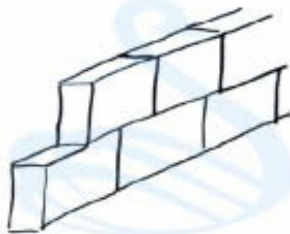


figura 3.24 estrutura de parede de $\frac{1}{4}$ de tijolo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Portanto, uma estrutura muito pouco espessa.

Intuitivamente sabemos que, mesmo no interior de uma residência, essa estrutura não tem a menor condição de oferecer condições minimamente satisfatórias de Perda de Transmissão. Ou seja, o conforto acústico propiciado por divisórias como essa seria bastante precário.

Então, deve parecer óbvio que a primeira medida para incrementar a Perda de Transmissão daquela estrutura pouco espessa é duplicar a espessura e a densidade superficial da mesma. Então chegamos na estrutura da figura 3.25, denominada aparelho de $\frac{1}{2}$ tijolo ou de $\frac{1}{2}$ vez.

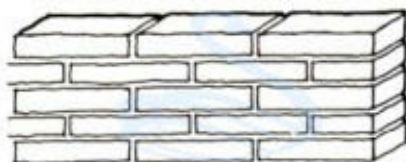


figura 3.25 estrutura de parede de $\frac{1}{2}$ tijolo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Sabemos que, grosso modo, teremos aumentado a Perda de Transmissão em pouco mais que 4,0 dB.

Se isso ainda nos parece insuficiente, podemos tornar a duplicar a estrutura. Para chegar ao que mostra a figura 3.26.

Essa é uma parede com aparelho de 1 tijolo ou de 1 vez.

OK?

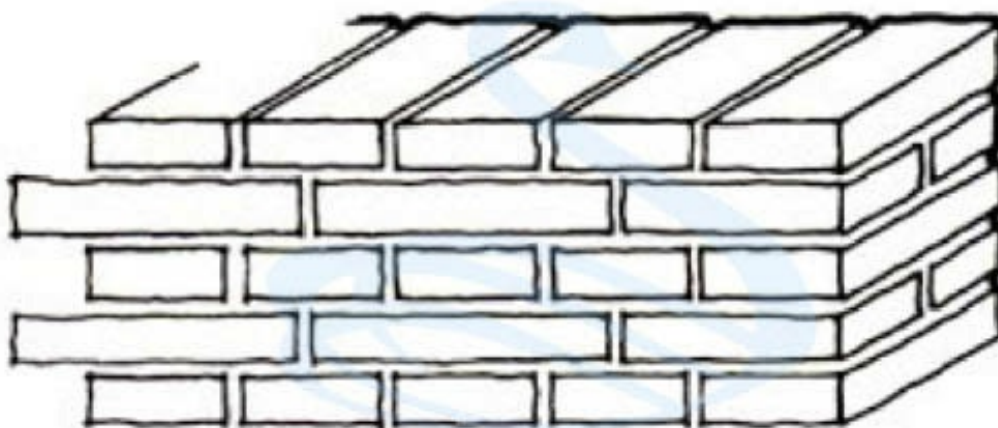


figura 3.26 estrutura de parede de 1 tijolo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Novamente incrementamos a Perda de Transmissão em pouco mais que 4,0 dB.

Bem amigos, poderíamos prosseguir mais e mais e chegar numa estrutura com metros de espessura. Mas, antes desse momento deve ter soado uma campainha e ascender uma luz vermelha. Tudo em sinal de alerta. Com efeito, até um certo ponto a duplicação parece razoável. Tanto em termos de custo quanto em termos físicos. Mas, após esse ponto notamos que temos que investir uma fortuna para aumentar a Perda de Transmissão em apenas pouco

mais que 4,0 dB.

Pois bem, nesse limite somos obrigados a pensar numa outra alternativa. Essa alternativa é a duplicação da estrutura. Não como fizemos até aqui, mantendo a característica estrutural monolítica. Ao invés disso construímos uma estrutura dupla. Ou seja, ao invés de apenas aumentar a espessura construímos duas paredes paralelas com um certo espaçamento entre elas.

Porque?

Bem, veja a ideia na figura 3.27. Lá estão esquematizados os principais fundamentos que regem como se porta a Perda de Transmissão dessas estruturas duplas.

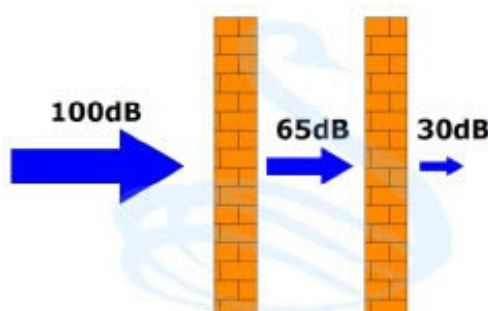


figura 3.27 teoria da estrutura dupla acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se cada uma das estruturas da figura 3.27 tem Perda de Transmissão de 35 dB, então o ruído externo de 100 dB atravessa a primeira estrutura e o nível resultante é 65 dB. Essa parcela de energia vai atravessar a segunda estrutura, que também impõe atenuação de outros 35 dB. O resultado final no sentido das setas é, então, 30 dB.

Certo? Na teoria, sim! Na prática as coisas são diferentes. Jamais se obtém a soma algébrica das duas Perdas de Transmissão em casos de estruturas duplas. Há inúmeros motivos que justificam as grandes diferenças entre teoria e prática.

O mais relevante de todos eles é que o colchão de ar criado entre as duas estruturas passa a se comportar como uma caixa de ressonância, com suas próprias frequências de ressonância e produção de modos de vibração. As ondas estacionárias prevalecem e acabam produzindo efeitos colaterais de monta.

A energia das estacionárias impacta as duas estruturas que, por isso mesmo, vibram e produzem som por ação diafragmática. Reduzindo, ipso facto, a Perda de Transmissão da estrutura dupla teórica. Aliás, é por essa razão que a Perda de Transmissão aumenta bastante com o aumento da distância entre as duas paredes.

O segundo motivo que ajuda a reduzir a Perda de Transmissão das paredes duplas é que, de modo geral sempre existe um certo de acoplamento mecânico entre as duas estruturas. O que facilita a transmissão de som de um para outro lado.

Uma das formas de atenuar a energia das estacionárias no interior das paredes duplas é utilizar material fonoabsorvedor entre as paredes. Outra maneira de se reduzir essa energia é não construir as paredes exatamente paralelas. Por exemplo, uma delas pode ser verticalmente

inclinada. Ou anguladas no sentido horizontal em relação à outra.

Os engenheiros de acústica se esmeraram muito nas últimas décadas para obter mais desacoplamento mecânico entre as suas paredes da estrutura dupla. Nesse sentido são utilizadas várias técnicas e maneiras criativas de se implementar as estruturas.

A figura 3.28 mostra uma dessas técnicas.

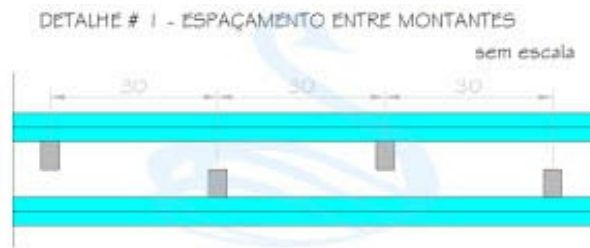


figura 3.28 estrutura dupla construída com gesso acartonado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

Cada parede da estrutura é formada por duas placas de gesso tipo acartonado parafusadas entre si. Note que cada parede possui seus próprios batentes, o que ajuda muito a desacoplar as paredes entre si.

DESENHO DE MONTAGEM
vista explodida, sem escala

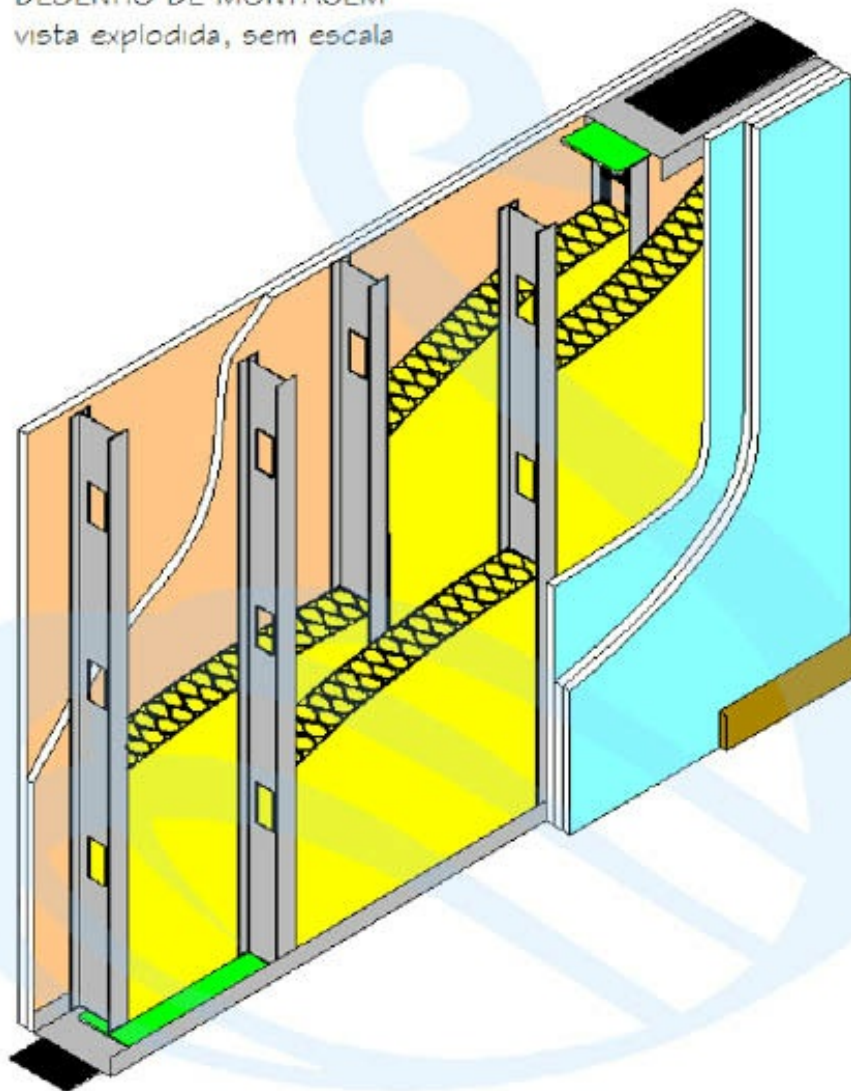


figura 3.29 desenho de montagem da estrutura dupla projetada com gesso acartonado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Por sinal, a ideia de usar gesso acartonado para obter paredes duplas é sempre muito eficaz, relativamente barato e fácil de construir. Por isso, está na moda.

A figura 3.29 mostra o desenho construtivo de uma parede dupla de gesso acartonado.

Veja que lá estão indicados os painéis de material fonoabsorvente, cuja finalidade é, como vimos, atenuar as estacionárias entre as paredes.

Note também que uma das paredes é construída com duas placas de gesso parafusadas entre si, porquanto a segunda é construída com três placas de gesso. Portanto, uma das paredes é mais espessa e possui mais densidade superficial que a outra. Porque? Apenas para reduzir as chances do efeito coincidência, discutido anteriormente.

Superfícies idênticas teriam buracos acústicos nos mesmos segmentos do espectro. O que naturalmente não é desejável, já que assim a parede como um todo exibiria o mesmo “buraco acústico” em cada uma de suas superfícies. Ao invés disso, superfícies com “buracos” em diferentes pontos do espectro constituem paredes com melhores características acústicas.

A figura 3.30 mostra os valores de perdas de transmissão de várias estruturas duplas construídas com materiais comuns usados em praticamente quaisquer construções civis.

Quem quiser entrar mais detalhes sobre esses valores, e sobre outras estruturas duplas, não encontrará qualquer dificuldade. Inúmeros livros e publicações de acústica trazem informações copiosas a respeito.

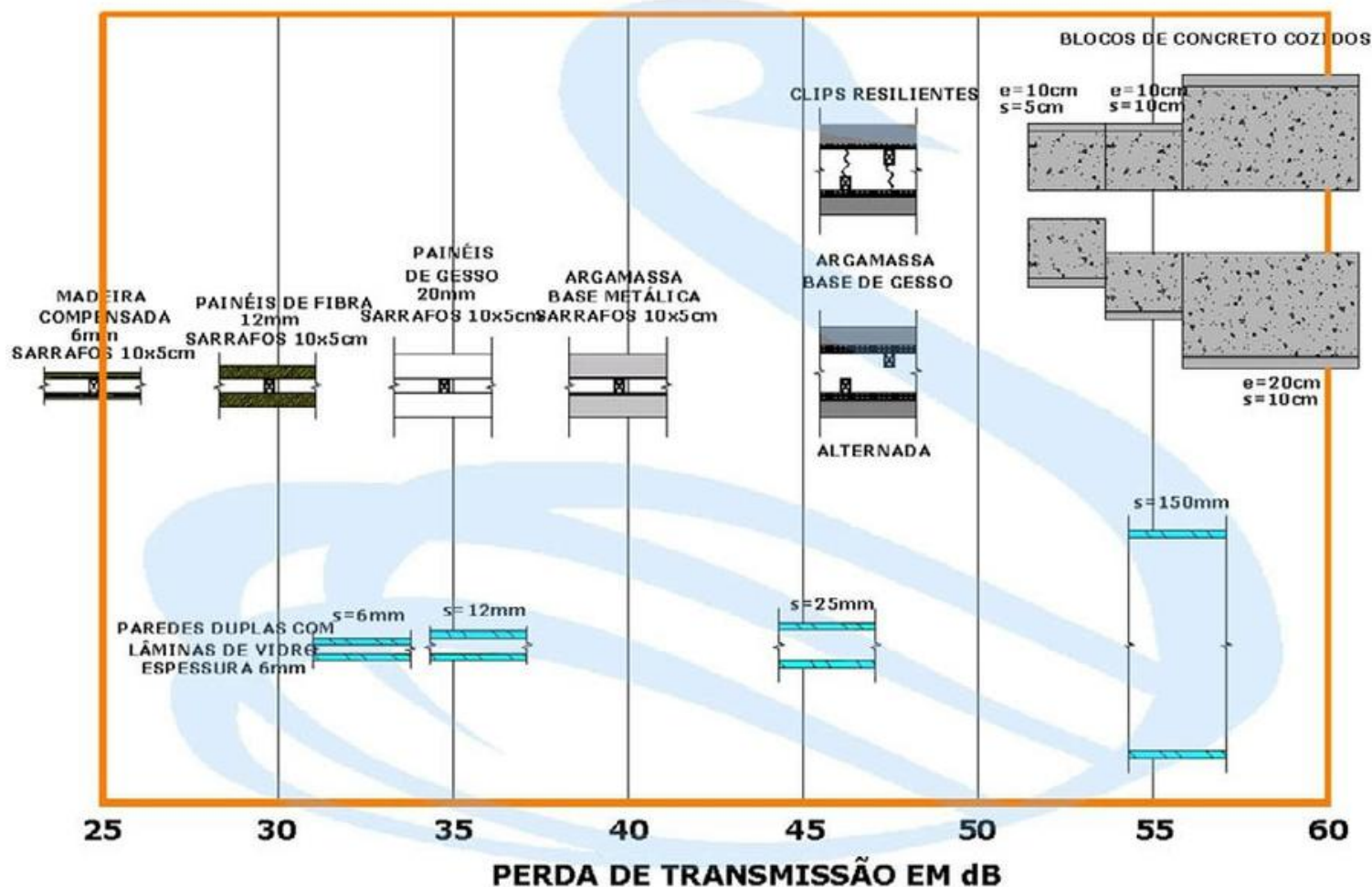


figura 3.30 várias estruturas e suas capacidades de isolamento de ruídos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Não recomendo que os noviciados partam para medir as Perdas de Transmissão das estruturas mais complexa.

Mesmo um bom engenheiro de acústica, com muito talento, encontrará enormes dificuldades para fazer os cálculos necessários. Só para dar uma pálida ideia disso menciono alguns dos fatores em jogo, e que devem ser minuciosamente estudados: a frequência de ressonância natural e o amortecimento de cada uma das superfícies individualmente

consideradas, o acoplamento acústico existente entre as duas ou três superfícies, as frequências críticas envolvidas, as ressonâncias havidas nas cavidades, as interações múltiplas entre estes e outros fatores e assim por diante.

Como vimos, qualquer parede que recebe sons é posta a vibrar. E os sons são transmitidos por ação diafragmática. Os cálculos das perdas de transmissão dos sons de baixas frequências são sempre muito complexos, já que estão relacionados com vários aspectos construtivos das superfícies, reforços estruturais, formas de amarração interna, rigidez mecânica e outros.

Juntamente com outros elementos estruturais, paredes compostas por duas ou mais superfícies estão sempre sujeitas a movimentos contínuos devidos a ação de ventos, mudanças de temperatura, contrações e expansões naturais dos materiais, variações higroscópicas, deflexões provocadas por cargas, e tantas mais.

Desse modo, do ponto de vista meramente acústico, é sempre conveniente que os rejuntamentos não sejam feitos do modo usual, mas com selantes elásticos especiais, com propriedades de manutenção de forma física e grau de elasticidade por muitos anos. O que poderia nos assegurar a preservação das perdas de transmissão ao longo do tempo.

Nas figuras anteriores você viu alguns casos de paredes construídas com placas de gesso acartonado, usualmente parafusadas entre si.

Outrossim, há algumas formas de, além de tudo, aperfeiçoar ainda mais a Perda de Transmissão dessas paredes. O que se consegue com desacoplamento estrutural.

Vou apresentar a seguir três exemplos de muitos que podem ser seguidos.

primeiro exemplo

O primeiro exemplo envolve o uso da cola chamada GREEN GLUE, apresentada na figura 3.31.



figura 3.31 cola GREEN GLUE à esquerda e sua aplicação numa chapa de gesso, à direita cortesia Green Glue Company e Saint Gobain Ao invés de parafusar as chapas de gesso entre si, elas são coladas com esse produto. O resultado é a melhora substancial da Perda de Transmissão em comparação com o sistema de parafusos. A cola ajuda a dissipar a energia que se propaga pela estrutura, com resultados excelentes para custo marginal.

Quem quiser pode encontrar muitas informações adicionais a respeito no site do fabricante:

www.greengluecompany.com

segundo exemplo

O segundo exemplo também tem a ver com o desacoplamento de peças como chapas de gesso. O segredo do produto é um perfil metálico relativamente flexível, que é diretamente parafusado no batente.

Alguns perfilados são instalados horizontalmente, possibilitando que as chapas de gesso sejam parafusadas neles, os perfis resilientes.

Dessa forma a estrutura vertical fica consideravelmente desacoplada dos próprios batentes que a sustentam.

Isso é o suficiente para incrementar em boa medida a Perda de Transmissão das estruturas.

A figura 3.32 mostra um detalhe de fixação de um canal resiliente.



figura 3.32 canal resiliente parafusado em batente vertical de madeira cortesia Auralex Solutions

terceiro exemplo

O terceiro e último exemplo é um caso muito característico na forma de obter o desacoplamento acústica da superfície.

Neste caso, o coração da ideia chama-se CLIP GENIE, que é ilustrado na figura 3.33.



figura 3.33 clip genie à esquerda, sua fixação no batente ao centro e, à direita, um canal que se tornou totalmente resiliente graças ao uso do clip genie cortesia AcoustiGuard Creio que as figuras dissipam todas as dúvidas que podem existir sobre o uso básico desse dispositivo. Entretanto, quem quiser mais informações técnicas e/ou comerciais pode se dirigir diretamente ao site do fabricante:

www.acoustiguard.com

3.10.2 Pelo Ar

Uma vez que os sons se propagam pelo ar, nossos ambientes podem ser invadidos por ruídos e sons transmitidos por quaisquer caminhos aéreos.

Por exemplo, janelas abertas.

É claro que esse exemplo é o supracitado do óbvio. Ora, vamos fechar as janelas, e

teremos resolvido o problema.

Certo? Não, errado.

Porque frestas, por menores que sejam, permitem a passagem dos sons. Além disso, as janelas convencionais já apresentam perdas de transmissão muito reduzidas.

A combinação dessas duas coisas, também aplicável a portas, é a grande causadora de problemas num sem número de casos.

Além disso, dutos de ar condicionado e de ventilação são eméritos causadores de problemas.

Muitas vezes, um mesmo duto atende a duas ou mais salas.

Diretamente ou através de derivações.

E quando isso ocorre, a conversa que rola numa sala pode facilmente atingir a outra, ou outras, através desses caminhos.

Nos prédios modernos é comum a instalação de um forro comum de gesso para todo um pavimento. E depois, as separações físicas do espaço são feitas com divisórias acústicas, que vão apenas do piso até o forro falso, comum.

Desse modo, criam-se vários caminhos entre as salas assim divididas, exatamente pela grande cavidade que passa a existir entre o forro falso e a laje.

Os resultados são contundentes.

Em muitos casos desses, que atendemos Brasil afora, é praticamente como se não existissem quaisquer divisórias.

Estes são apenas exemplos de caminhos aéreos que podem conduzir sons com extrema facilidade.

Na prática poderíamos enumerá-los à exaustão.

Então, esse é o momento certo para tratar da hermetização de portas e janelas.

Há muitos produtos que são usados com essa finalidade.

Antes de entrar nos detalhes mais específicos gostaria de mostrar um projeto de porta acústica. Prevendo o uso do material de hermetização.

A figura 3.34 mostra uma sequência desse projeto.

Vejamos.



figura 3.34 no lado esquerdo o projeto básico da porta, no centro um detalhe do projeto, mostrando

que são quatro níveis hierárquicos de hermetização e, no lado direito, a porta acústica já funcionando, num dos auditórios da diretoria executiva do Bradesco, Cidade de Deus, Osasco acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nesse caso, e em praticamente todos os projetos de acústica que fiz para o Banco Bradesco, sempre dei preferência ao uso do material de hermetização da National Guard Products, Inc.

São muitos materiais disponíveis, distribuídos em vários grupos. Vale a pena conferir no site da empresa, que é o www.ngpinc.com

Para dar uma pálida ideia dos produtos da NGP apresento algumas figuras a seguir.

Devo dizer que essa questão da hermetização de portas, janelas, painéis, grelhas e outros acidentes das obras civis, são geralmente mal conduzidos no Brasil. Uma porque não dispomos localmente de nada que seja realmente profissional no sentido lato do termo. Outra porque, ao menos para quem indaguei, que a porta e a janela em si são mais importantes do que sua hermetização. Infelizmente, o que ocorre é justamente o oposto.

Ou seja, é relativamente fácil desenhar e construir uma janela ou uma porta, mas a questão da hermetização invariavelmente pega.

Por isso mesmo é que vale a pena estudar um pouquinho cada uma dessas figuras e imaginar todas as possibilidades de suas aplicações.

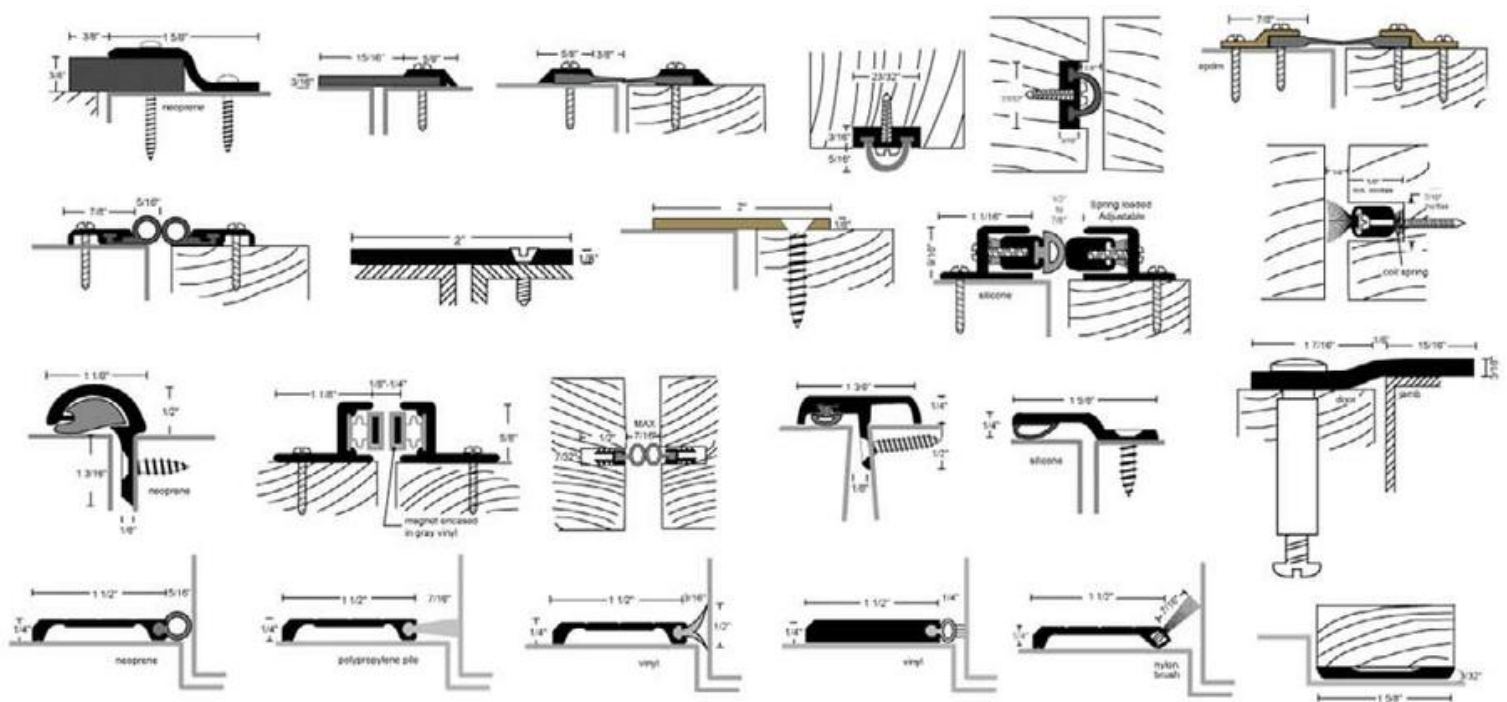


figura 3.35 várias gaxetas de hermetização fabricadas pela NGP Inc.

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como mencionei, os produtos da NGP são organizados por grupos de mesmo gênero. Cada grupo apresenta uma enorme quantidade de itens, cada qual oferecido em inúmeros materiais, tanto de fixação quanto de hermetização, além de tamanhos diferentes. Por exemplo, os materiais de fixação podem ser alumínio, aço, bronze, latão, *etc.* Já os materiais de hermetização podem ser vinil, neoprene, espuma de borracha sintética, poliuretanos, silicones, escovas de nylon, de aço e assim por diante. Em razão da incrível variedade de produtos que a NGP oferece, a figura 3.36 é uma continuação da figura 3.35.

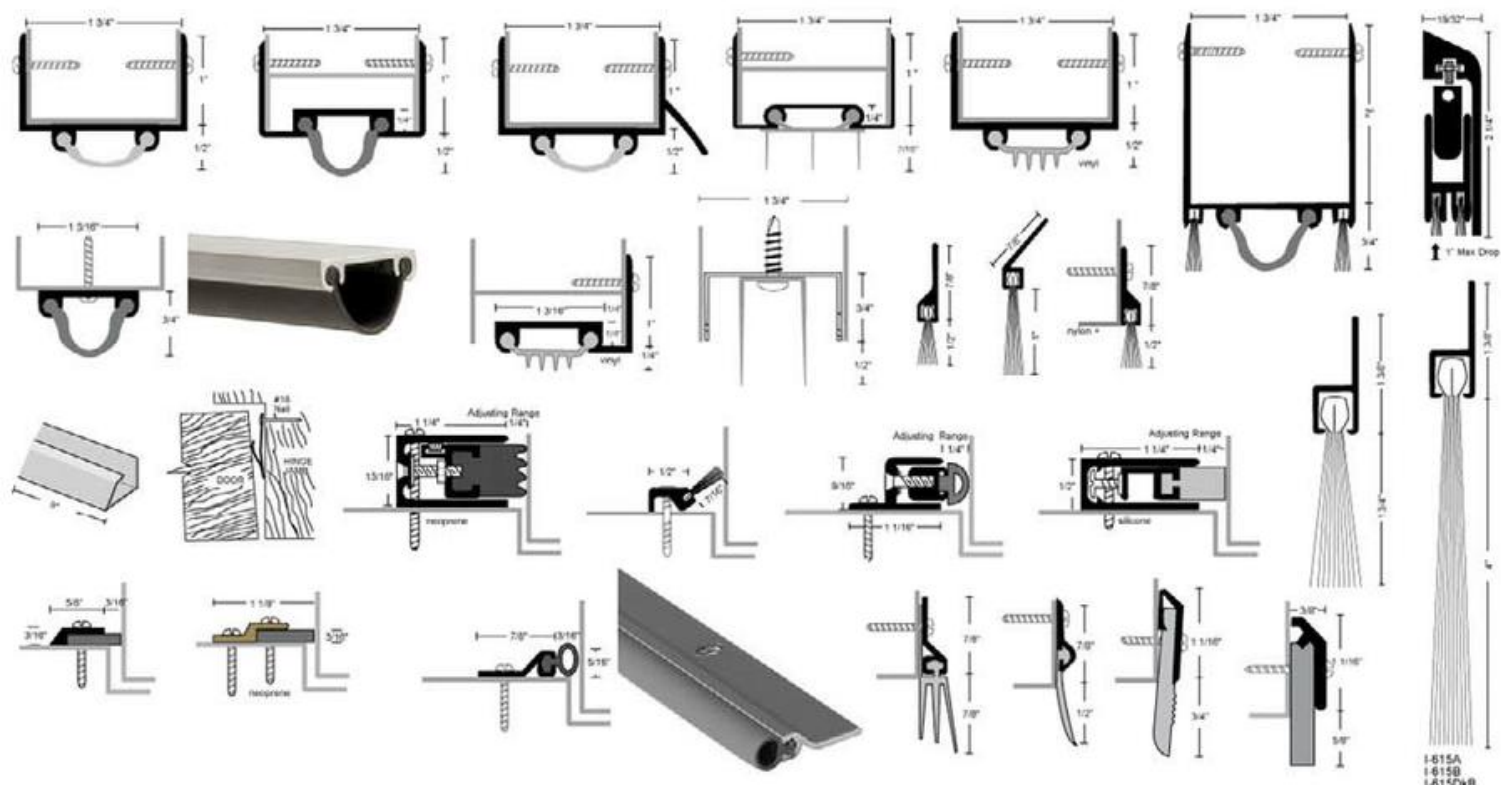


figura 3.36 gaxetas de hermetização e hermetizadores de portas fabricadas pela NGP Inc. acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Note que agora começam a aparecer os hermetizadores para portas, tanto os manuais quanto os automáticos. Alguns desses são auto adesivos, o que facilita muito a instalação.

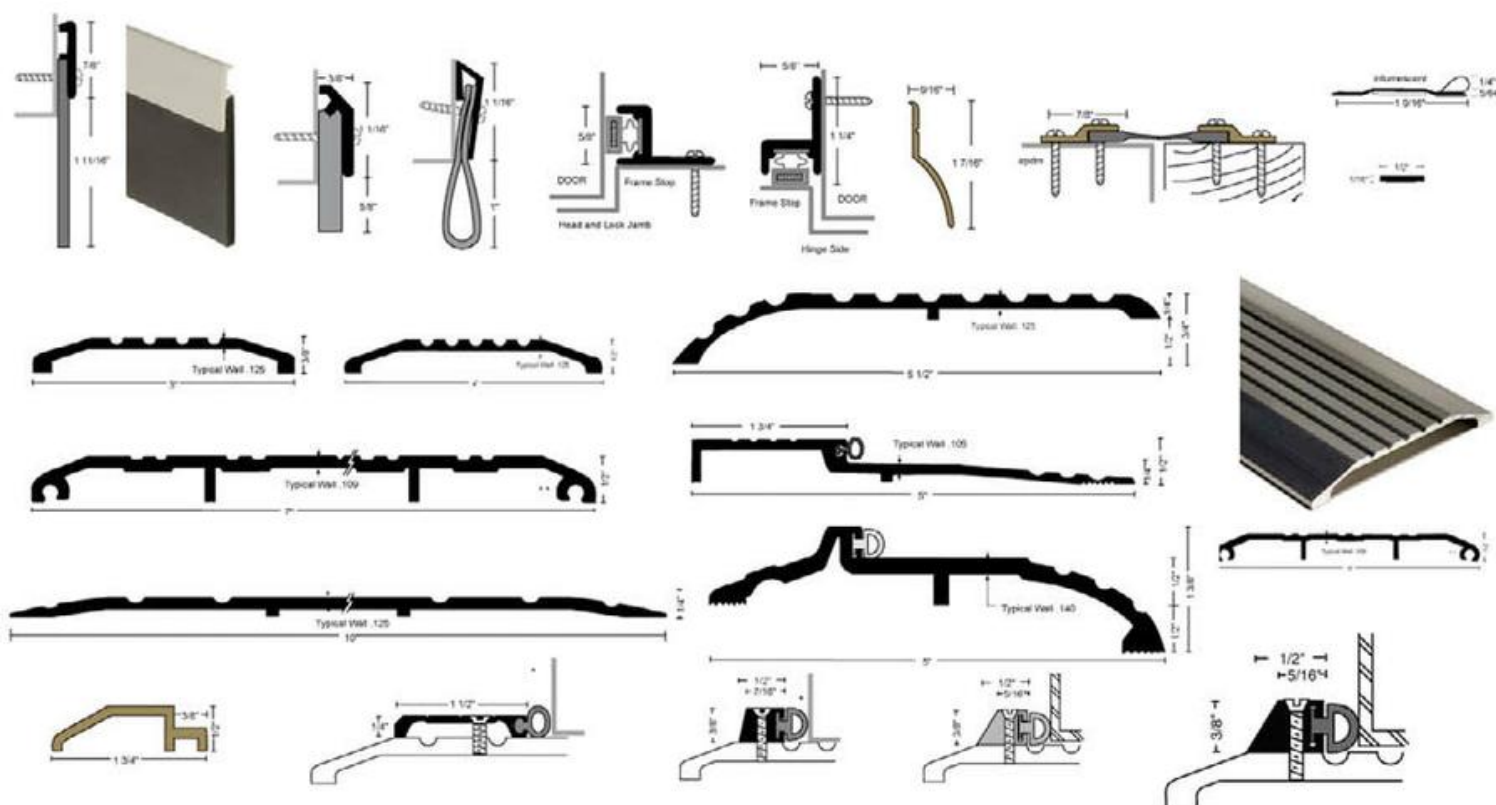


figura 3.37 vários hermetizadores fabricados pela NGP Inc., agora incluindo soleiras de portas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 3.37 ainda prossegue mostrando alguns dos produtos da NGP.

Os materiais que aparecem em cor marrom nas figuras podem ser fabricados em bronze ou em latão.

Em razão da pouca oportunidade que temos de analisar soleiras de portas para finalidades acústicas, aproveito esta chance para apresentar uma última figura com o material da NGP Inc.,

agora uma pequena coletânea de soleiras para portas. No caso, todas elas de bronze. Essa é a figura 3.38.

Mas insisto que, como os demais produtos, essas soleiras também são disponibilizadas em vários materiais diferentes, como aço, alumínio e há, inclusive, os modelos de alto tráfego.

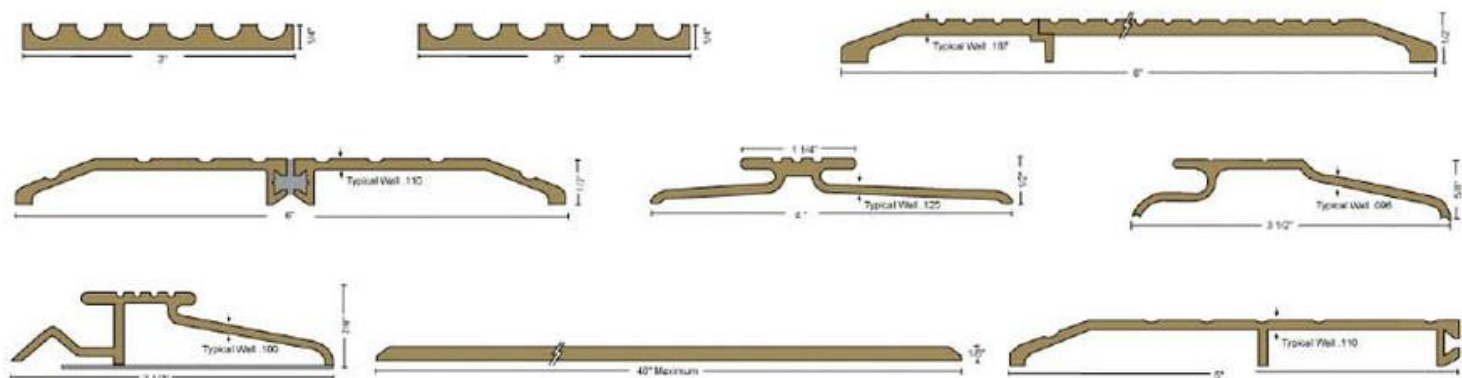


figura 3.38 soleiras de porta de bronze fabricadas pela NGP Inc.

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quem entrar no site da NGP terá a grata surpresa de verificar que, para cada item fabricado pela empresa são disponibilizados vários documentos. Entre eles desenhos técnicos das peças em vários formatos eletrônicos, fichas técnicas completas e tantos outros.

Convém mencionar que cada item fabricado pela NGP possui uma longa série de certificações, incluindo os de “pressão positiva”, de acordo com o IBC, NFPA 80 e NFPA 252, certificações CAN/ULC-S104 e ANSI/ULO 10B para aplicação em portas corta fogo, certificações pela UL e ANSI/UL categoria B para portas de madeira em condições de fogo, certificações ANSI/UL10C e ANSI/UL 1784 categoria H para vedação de fumaça e controle de gaxetamento.

Sem parar por aí, outras certificações incluem as acústicas, especialmente para as características especificadas. Neste caso, concedidas pela ASTM para sons transmitidos por vias aéreas, incluindo taxas de queda de energia, credenciamento para infiltração de ar, mediante testes realizados de acordo com as normas ASTM E283.

Também fazem parte do acervo as certificações antimicrobianas com efetividade de até 99% no que tange a eliminação de bactérias incluindo MRSA e E-coli.

Finalmente, as certificações ANSI/BHMA para produtos que atendem as normas do American National Standard para hermetização e gaxetamento de portas.

Naturalmente, todas essas informações aparecem bem detalhados no site do fabricante.

Além disso, lá podem ser encontrados todos os itens oferecidos pela NGP como artigos para janelas, para portas, incluindo guilhotinas automáticas, batentes e soleiras de portas, selantes e uma infinidade de itens destinados a aplicações muito específicas.

Qualidade é o ponto forte desta empresa.

3.10.3 Transmissão por Estruturas Sólidas São bem conhecidas as excelentes características de transmissão sonora das estruturas sólidas metálicas, nas quais o som é capaz de viajar por

centenas de metros com atenuação de poucos decibels.

Também são boas transmissoras as estruturas de alvenaria, de concreto, *etc.*

No curso de Básico de Áudio Profissional ministrado pela Cysne Sound Engineering costumo dizer aos alunos que quem já morou próximo a uma linha de bonde ou de trem, e teve oportunidade de brincar jogando pedras ou moedinhas nos trilhos, sabe que o som é capaz de se propagar por quilômetros, sem perdas apreciáveis.

Tendo isso em vista, é fácil percebermos porque as vibrações provocadas por máquinas como motores de elevadores, de sistemas de condicionamento de ar, bombas de recalque e outras tantas são transmitidas pelas estruturas sólidas dos prédios para quaisquer locais, usualmente na forma de ruídos de baixas frequências E também, de vibrações mecânicas.

3.11 CRITÉRIOS DE RUÍDOS (NC) Quando estamos lidando com um ambiente fechado, muitas vezes precisamos considerar qual é o nível máximo de ruído que ainda podemos tolerar.

Esta pode ser uma tarefa algo ingrata. Mas as curvas NC (Noise Criteria) da figura 3.39 aí estão para aliviar um pouco as coisas.

Cada curva da figura representa uma especificação completa de espectro de frequências, embora ainda seja designada por um simples número.

De fato, analisando cada curva, observamos que ela, nada mais são do que uma formatação do espectro. Portanto, embutindo uma clara ponderação.

Usar as curvas NC ao invés de pensar num nível único de ruído, aplicável indistintamente a todas as frequências do espectro, nos garante resultados muito superiores.

Como no caso dos contornos STC, isto também é muito útil e conveniente.

Mas como usa-las?

Bem, a pergunta poderia ser reformulada para - num caso específico, que curva devemos escolher?

A resposta é realmente um pouco difícil. Mas a tabela 3.5 nos oferece um excelente balizamento de partida.

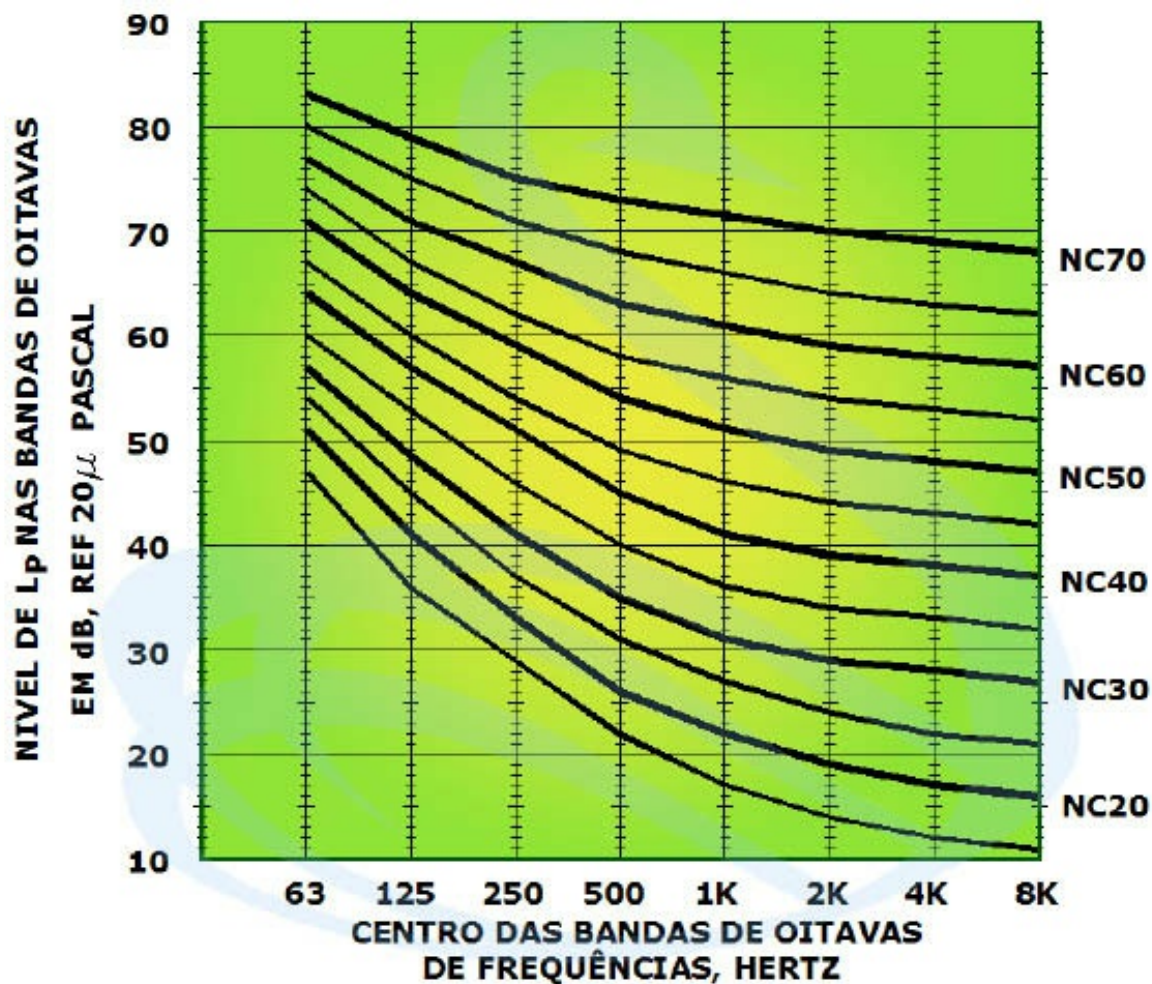


figura 3.39 curvas NC

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Neste ponto, encorajo o leitor a procurar outras tabelas semelhantes, publicadas em profusão em vários livros e revistas de acústica. Há dados específicos publicados em todo o mundo por autoridades municipais ligadas ao campo da saúde. Muitas universidades também pesquisam esses limites, e muitas delas estão em condições de prestar valiosas informações ao indivíduo interessado.

tabela 3.5

TIPO DE LOCAL	FAIXA NC RECOMENDADA
estúdios de gravação	15-25
teatros para ópera e concertos	15-25
outros estúdios e salas técnicas	15-25
santuários de igrejas	20-30
residências em áreas rurais	20-30
residências em áreas urbanas	25-35
quartos de hospitais	25-35
salas para conferências	25-35
quartos de hotel	30-40
escritórios convencionais	30-40
corredores e lobbies de hospitais	35-45
escritórios panorâmicos	35-45
restaurantes	35-45

Mas ninguém precisa ir muito longe para obter dados a respeito. Felizmente temos no Brasil a nossa querida SOBRAC - Sociedade Brasileira de Acústica. Muito ativa, laboriosa e competente, esta associação está em condições de oferecer subsídios valiosos sobre quaisquer assuntos relacionados com a acústica.

Especialmente através de seus congressos.

Os iniciantes costumam julgar que níveis como os da tabela 3.5 são baixos demais, e em geral de difícil obtenção. Por isso, convém lembrar três aspectos.

Um, que as curvas NC são muito diferentes de níveis gerais, já que são figuras ponderadas. O que significa que, por exemplo, um nível de 67 L_p na banda de oitavas centrada em 63 Hz está dentro da curva NC 45.

Outro, que apenas baixos NRA são capazes de assegurar as gamas dinâmicas elevadas sem as quais muitos programas musicais perderiam seu sentido, valendo o mesmo para peças de teatro, musicais, e inúmeros outros espetáculos.

Finalmente, só assim é possível obter elevados níveis de inteligibilidade da palavra.

3.12 FREQUÊNCIA DE RESSONÂNCIA Já vimos o conceito de frequência. Trata-se apenas da quantidade de vezes que um fenômeno repetitivo com o tempo acontece num determinado intervalo de tempo.

O termo ressonância é geralmente associado com algo capaz de provocar e de manter naturalmente num sistema um determinado fenômeno. De tal forma que se alteramos, ainda que ligeiramente, a frequência do que está provocando o fenômeno, teremos uma redução sensível na resposta do sistema.

Nesse contexto, interessam-nos agora três formas de frequência de ressonância. Todas discutidas na sequência.

3.12.1 Elétrica

Pense num circuito extremamente simples. Um capacitor e um indutor ligados em série. Há apenas uma única frequência, chamada frequência de ressonância do circuito, para a qual o mesmo torna-se ressonante.

Ou “sintonizado”.

Isso é, para essa particular frequência, sua impedância torna-se mínima.

Por isso mesmo esse circuito pode ser usado como filtro, ou para remover essa frequência de ressonância, enquanto as demais passam, ou para deixá-la passar enquanto todas as demais são removidas ou atenuadas.

3.12.2 Mecânica

Vamos voltar ao exemplo da figura 3.1. Vimos que o peso e a mola combinam duas entidades: massa e elasticidade (ou compliância). E elas acabam por determinar a frequência de ressonância própria e natural do sistema.

No caso, as características do peso e da mola.

A frequência de ressonância aumenta com o aumento da massa (porque a inércia do peso também aumenta), e com a redução da elasticidade (porque o controle mecânico é menor, fazendo com que o período seja mais longo).

Um exemplo claro de frequência de ressonância mecânica é a frequência de ressonância do cone de um falante ao ar livre.

Que como antes, resulta diretamente da compliância da suspensão do falante, e da massa móvel do conjunto, aí incluídos cone, bobina móvel, forma, suspensões, colas utilizadas, e o que mais estiver sujeito a movimentos.

3.12.3 Acústica

Observe a figura 3.40. Lá estão duas paredes paralelas.

A distância entre elas é d .

Numa delas foi instalado um alto-falante.

Quando alimentado por um gerador de áudio, seguido de um amplificador, podemos variar a frequência do tom puro que queremos que o falante reproduza.

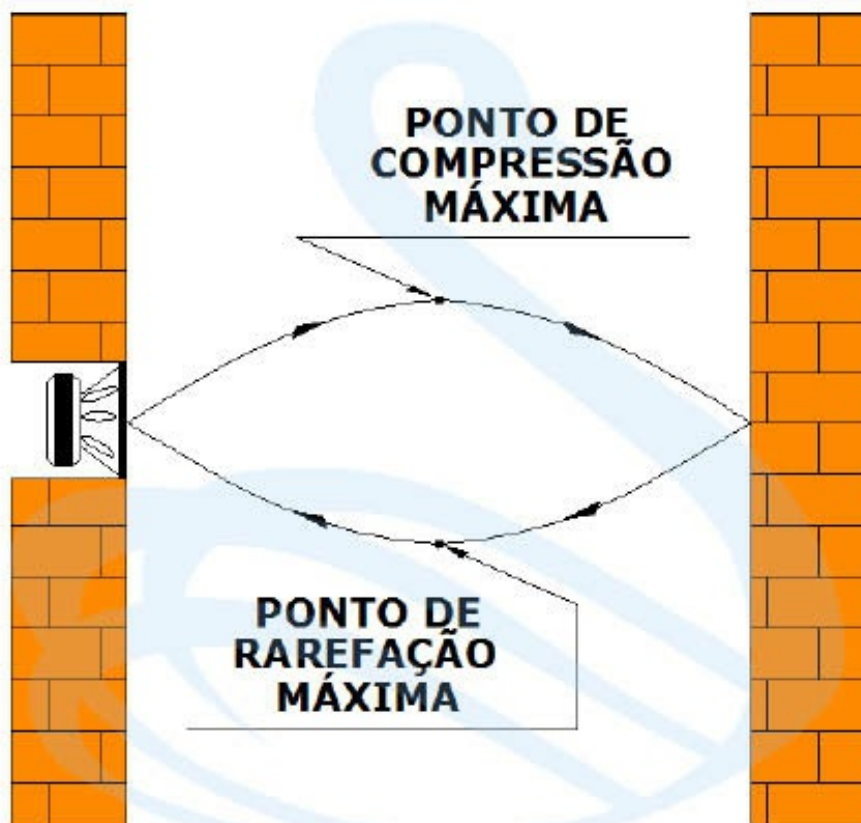


figura 3.40 frequência de ressonância de natureza acústica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Então, podemos pensar que ele está reproduzindo uma frequência f , cujo comprimento de onda é $2d$.

Vamos analisar então o que ocorre.

Ao deixar o falante, o som caminha em direção à parede oposta, aumentando a pressão dinâmica ao longo do trajeto, como mostra a figura. Exatamente no ponto central entre as paredes a pressão dinâmica atinge seu valor máximo. Daí em diante seu valor começa a cair, até chegar ao valor da pressão atmosférica normal na parede oposta. Nesse ponto, o som é refletido de volta.

Então a pressão dinâmica começa a se reduzir, atingindo seu ponto mínimo também no ponto central entre as paredes.

Os sons refletidos se combinam com os novos, reproduzidos pelo falante, de sorte que as máximas e as mínimas pressões dinâmicas se combinam exatamente no ponto central entre as paredes. O resultado teórico disso é o cancelamento das pressões dinâmicas, e consequentemente, do som.

Por essa razão, a frequência cujo comprimento de onda é o dobro da distância que separa as paredes paralelas é a frequência de ressonância entre elas.

No jargão da acústica, a frequência de ressonância também é chamada de frequência modal.

3.13 COEFICIENTES DE ABSORÇÃO

O coeficiente de absorção acústica (α) de um material é a relação entre a parcela de som que é absorvida e o som incidente. Os coeficientes de absorção acústica podem ter valores entre 0 e 1.

Uma porta aberta não refletirá qualquer som, e pode ser, por isso mesmo, considerada um absorsor perfeito. Sua absorção é 100%, e o coeficiente de absorção 1 (unidade). No outro extremo, qualquer material que reflita todo o som incidente, sem nada absorver, terá coeficiente de absorção 0.

O coeficiente 0,4, por exemplo, indica que 40% de toda a energia incidente é absorvida. Os coeficientes de absorção acústica dos materiais variam com a frequência do som incidente, e por isso são geralmente indicados para bandas de frequências de uma oitava, com frequências centrais de 125, 250, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz.

A menos que especificamente estabelecido de outro modo, os coeficientes de absorção publicados representam a absorção média considerados todos os possíveis ângulos de incidência. Do ponto de vista de aplicação isto é excelente, pois num espaço fechado as ondas de som são refletidas inúmeras vezes, e por todas as superfícies, de modo que para um determinado ponto qualquer, acabam vindo praticamente de todas as direções possíveis.

No Apêndice F apresento os coeficientes de absorção de uma vasta relação de materiais.

Para maior facilidade de consulta, os materiais estão separados por tipo.

3.14 ABSORSORES ACÚSTICOS

3.14.1 Materiais Porosos e Fibras Há um grupo muito especial de materiais que exibem propriedades acústicas semelhantes. Eles constituem uma das mais importantes classes de materiais absorvedores da acústica. Desse grupo seletivo fazem parte alguns tipos de materiais porosos, como as espumas e alguns produtos cujo substrato é formulado à base de fibras. Por sinal, tais fibras tanto podem ser de origem vegetal quanto de origem mineral. Em conjunto, esses materiais são genericamente chamados de absorvedores porosos.

A importância dos absorvedores porosos está diretamente relacionada com as muitas aplicações possíveis que cada um dos produtos encontra na acústica arquitetônica contemporânea. Por exemplo, eles podem ser utilizados para ajustar tempos de reverberação em quaisquer ambientes fechados. Outro exemplo de aplicação é o uso dos absorvedores porosos como barreiras para atenuar a intensidade das ondas sonoras viajando de um ponto para outro no espaço. Outro exemplo ainda é a utilização dos absorvedores porosos como elementos de controle das ondas estacionárias. Essa aplicação abrange todos os casos de ambientes fechados além dos colchões de ar sobre forros falsos ou entre as estruturas de paredes de lâmina dupla.

Alguns desses absorvedores apresentam características acústicas tais que praticamente podem ser considerados produtos de “uso geral”. Entretanto, outros mostram comportamento muito mais específico, se prestando melhor para determinadas tarefas e não para outras.

A avaliação criteriosa de que material deve ser utilizado em cada aplicação implica em que o profissional que faz a escolha tenha boa noção das propriedades desses materiais. E oferecer subsídios nesse sentido é objetivo das linhas seguintes.

Para os que têm interesse em se aprofundar mais no assunto, recomendo que aprendam a aplicar as técnicas de análise aos problemas de controle de ruído de modo geral, e aos de natureza estrutural de modo particular. Isso provavelmente desenvolverá consideravelmente o conhecimento prático das propriedades comuns e mais típicas dos absorvedores porosos.

3.14.1.1 Tipos de Materiais espumas em blocos ou em flocos Vimos que os absorvedores porosos abrangem uma plêiade de artigos, incluindo espumas, fibras, tecidos e alguns produtos especiais.

As espumas, tanto na forma de blocos, quanto na forma de flocos, precisam ser necessariamente de célula aberta. Elas podem ser fabricadas a partir de uma longa relação de matérias primas. Entre elas estão o uretano, o poliuretano, o polietileno, a polimetacrilimida, a

polipropileno, o poliestireno e tantas outras. Do ponto de vista industrial, praticamente qualquer espuma pode ser fabricada sem restrições com relação ao módulo de elasticidade. Para uso em acústica as espumas devem ter módulos de elasticidade relativamente elevados.

Atualmente já são fabricadas espumas metálicas. Durante a produção, à medida em que estas espumas passam do estado líquido para o sólido, ocorrem estresses térmicos. E eles provocam fraturas nas células das paredes internas, o que concorre para aumentar a capacidade de absorção sonora. Adicionalmente, processos de laminação das espumas metálicas visam atingir espessuras de aproximadamente 10 milímetros. Esse processo acrescenta mais fratura ainda, aumentando os coeficientes de absorção sonora das espumas metálicas. Tipicamente, os coeficientes de absorção das espumas metálicas podem chegar a 0,95 na faixa de 1 kHz a 4kHz. Esse espectro de frequências pode ser reduzido se as espumas metálicas não forem instaladas diretamente sobre as superfícies, mas com colchões de ar.

tecidos Os tecidos também fazem parte dos absorsores porosos. Quaisquer deles podem ser incluídos na relação. Os mais utilizados são os tecidos de trama bem larga como a juta e a aniagem, os veludos pesados, os feltros e os tecidos espessos de algodão e de poliéster, além dos tecidos felpudos, como os cheniles e vários padrões de tapetes, carpetes e cortinas. As cortinas podem ser mais facilmente instaladas com quaisquer afastamentos das paredes e com quaisquer quantidades de tecido por unidade de largura linear. Os carpetes podem aplicados sobre uma ou mais camadas de feltros e outros materiais que lhes condicionam os coeficientes de absorção.

Também há formas compostas de tecidos, que podem revestir espumas e materiais como o algodão em rama, e tantos outros, como é o caso das almofadas.

Outros tecidos podem ser usados isoladamente ou em combinações de várias camadas.

fibras Com relação às fibras, elas podem ser de vidro, de lã mineral, de lã de rocha basáltica, de fibra de poliéster, de fibra de carbono e muitas outras. Fisicamente, as fibras podem ser encontradas na forma de mantas bem moles e flexíveis, ou de placas flexíveis, semirrígidas ou muito rígidas. Nesses dois últimos casos as fibras são ligadas por meio de aglutinantes especiais, geralmente formulados à base de resinas sintéticas. Há algumas variedades de fibras, umas mais espessas, outras mais chatas e, as fibras alongadas, de alto desempenho acústico.

As fibras naturais podem ser fabricadas a partir do coco verde, das folhas de bananeira, do bagaço da cana de açúcar, do tronco de palmeiras e muitas outras espécies vegetais.

pulverização Também são fabricados produtos especiais de fibra, próprios para aplicação por pulverização em paredes ou forros, como mostra a figura 3.41.



figura 3.41 produto já pulverizado sobre a superfície aparente do forro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A espessura dessas aplicações pode variar desde poucos milímetros até 50 milímetros, ou mais. Estes produtos são fabricados à base de fibra de celulose, com fibras médias e longas, ou de fibra de vidro convencional, além de muitas espécies de fibras cerâmicas.

Vimos apenas os principais materiais da classe dos absorvedores porosos. Há uma grande quantidade e variedade de outros, praticamente todos disponíveis para a maioria dos projetistas.

3.14.1.2 As Propriedades dos Absorvedores Porosos A propriedade física mais óbvia de todos esses absorvedores porosos é a resistência que eles oferecem ao fluxo de ar que os atravessa. A resistência em si é produzida pela fricção do ar em movimento contra as superfícies do material poroso ou das fibras. O que dissipa energia. Assim, as perdas friccionais sucessivas vão dissipando a energia do som a cada reflexão, transformando-a em outra forma de energia, o calor.

Creio que, por si só, essa ideia explica porque as espumas precisam ser de célula aberta. Célula aberta significa apenas que as cavidades internas adjacentes do material, todas cheias de ar, se comunicam por caminhos múltiplos formados durante o processo de fabricação.

Naturalmente, o desempenho acústico de cada material poroso também é muito afetado pela frequência do som incidente, por sua porosidade, por sua densidade e por sua espessura. O coeficiente de porosidade de uma dada amostra de material é a razão apresentada em termos percentuais entre o volume do ar contido em todos os espaços vazios da amostra e o volume físico total da mesma amostra.

O módulo de elasticidade do material também tem sua própria influência. Vamos definir módulo de elasticidade como a razão entre a tensão aplicada no material e a deformação resultante, contida nos limites de deformação elástica do material. Isto é, a deformação totalmente reversível e proporcional à tensão aplicada. A reversão integral da deformação elástica resulta do realinhamento das cadeias macromoleculares longas e flexíveis. Tensões além do limite antes mencionado produzem o escoamento macromolecular e o rompimento das ligações secundárias entre cadeias adjacentes, resultando deformações plásticas. Que são deformações permanentes.

Finalmente, a orientação espacial e relativa das células abertas, suas interligações, e a orientação das fibras entre si também são ingredientes que são levados em conta em análises mais detalhadas.

resistência específica ao fluxo (R_1) A resistência específica ao fluxo de ar é uma das quantidades mais importantes que determina as características de absorção sonora dos absorsores porosos. Essa quantidade é definida por unidade de espessura do corpo em questão. A resistência específica ao fluxo pode ser calculada por

$$R_1 = \frac{\Delta P}{\Delta Tu} \text{ rays} / m \quad (3.6)$$

onde

- R_1 é a resistência específica ao fluxo de ar em rayls/m • DP é o diferencial de pressão sonora através da espessura DT da amostra, medida na direção da velocidade da partícula, em Newtons/m²
- DT é a espessura incremental, em metros, e • u é a velocidade das partículas em metros/segundo através da amostra porosidade (Y) A porosidade de qualquer material pode ser calculada por

$$Y = \frac{V_v}{V_T} \quad (3.7)$$

onde

• Y é a porosidade média percentual do material • V_V é o volume de ar nos espaços vazios da amostra, e • V_T é o volume total da amostra Há uma particularidade muito interessante a respeito da porosidade do material. Se as fibras no interior do material ficam muito afastadas umas das outras, pouca energia poderá ser transformada em calor. O motivo é que o som passará quase que diretamente pelo material, sem sofrer atrito ou fricção. Por outro lado, se as fibras estiverem muito compactadas entre si, a penetração do som no material será apenas superficial, prevalecendo as reflexões. Logo, o movimento de ar é insuficiente para produzir grau adequado de fricção.

Neste caso também há pouca transformação de energia em calor.

Entre esses extremos está a maioria dos materiais que absorvem som por porosidade.

o efeito gradiente Já vimos que a propagação do som pode ser definida como um distúrbio na pressão atmosférica normal, que se propaga num meio dotado de inércia e elasticidade, como o ar. Vimos também que quem realmente viaja é o distúrbio e não as partículas de ar. Ao contrário, estas se movem para frente e para trás numa amplitude espacial muito restrita. Esse movimento para frente e para trás é tão mais lento quanto mais baixa é a frequência, e tão mais veloz quanto mais elevada é a frequência. O distúrbio em si caminha em forma de ondas numa velocidade constante, independente da frequência, chamada velocidade do som.

A natureza de onda do som implica numa relação definitiva entre os movimentos das partículas de ar em diferentes posições na onda. Por exemplo, partículas separadas por uma distância igual ao comprimento de onda da frequência em questão, se movem em sincronismo. Ou seja, quando uma partícula qualquer inicia seu movimento para a frente, outra distante desta exatamente de um comprimento de onda, faz exatamente a mesma coisa.

Quando o som em propagação encontra uma superfície refletente, é produzida uma onda refletida que caminha de volta para o espaço de onde veio a onda incidente. O resultado disso é que as ondas incidente e refletida se interferem.

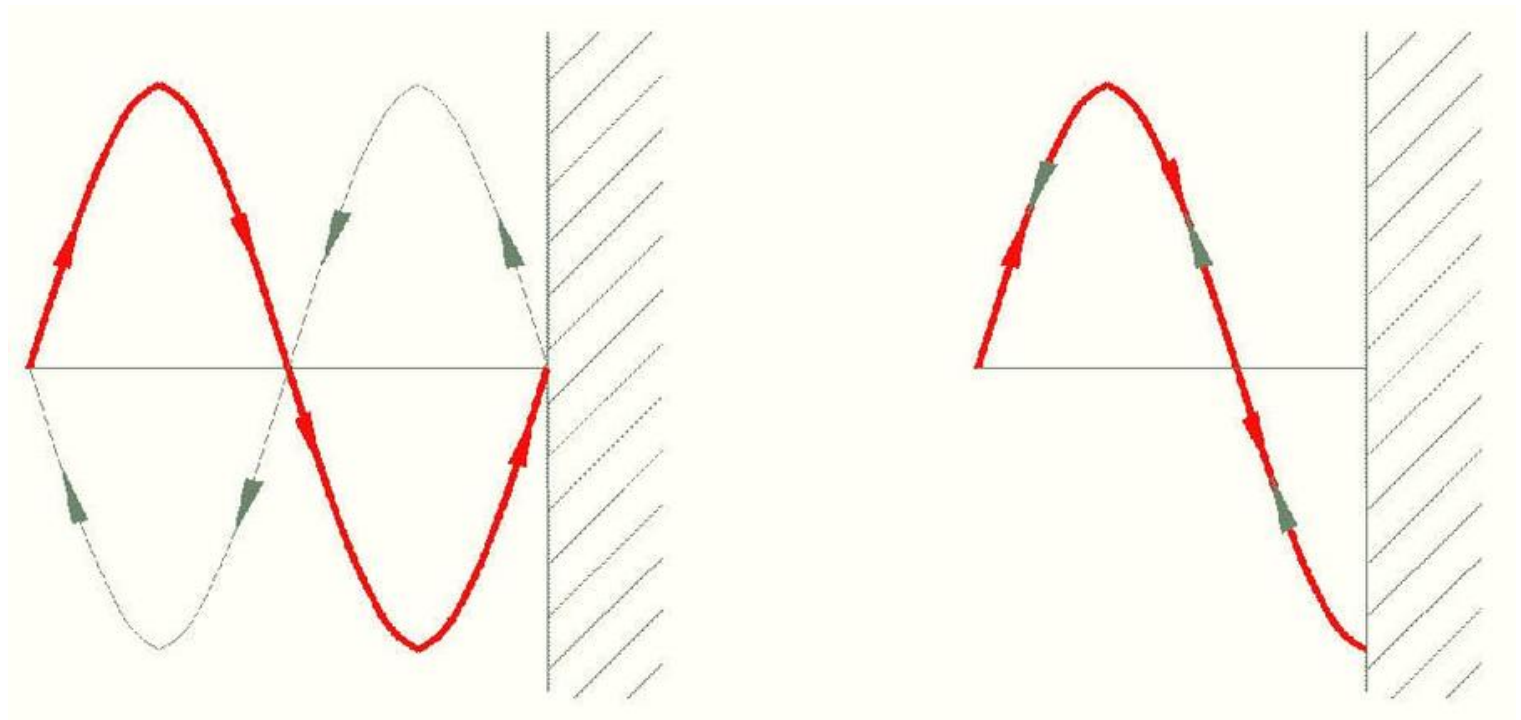


figura 3.42 interferência das ondas incidente e refletida à esquerda, o cancelamento, e à direita, o reforço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Num extremo, essa interferência pode produzir o cancelamento dos sons. É o que ilustra o lado esquerdo da figura 3.42. No outro extremo, os sons incidente e refletido podem ser reforçados. Como ilustra o lado direito dessa mesma figura.

Observe que a ocorrência de um ou outro extremo depende apenas e tão somente de que parte da onda incidente encontra a superfície refletente. Logo, quando esse encontro não for exatamente como os ilustrados nas duas figuras anteriores, ocorrerá uma forma de interferência que é algo entre os dois extremos discutidos.

Por outro lado, devemos considerar um detalhe que deve-se ao fato das superfícies refletentes serem invariavelmente rígidas. Por isso mesmo, não pode haver qualquer movimento de partícula numa camada micrométrica imediatamente adjacente à superfície refletente. Logo, nessa camada a velocidade da partícula é nula. Numa segunda camada a caminho do espaço considerado, as partículas já começam a adquirir velocidade. Que naturalmente, ainda é muito reduzida. A velocidade aumenta na camada seguinte, e mais ainda na próxima e assim sucessivamente. Até que depois de muitas camadas a velocidade das partículas já é normal. Aqui, o sentido do termo normal é a velocidade de partícula que se espera em qualquer região bem afastada da superfície refletente.

Portanto, contando-se da superfície refletente para o espaço, e caminhando-se uma certa distância, a velocidade da partícula aumenta de zero até seu valor de regime, numa progressão constante. A isso dá-se o nome de gradiente de velocidade. E ele pode ser representado como na figura 3.43.

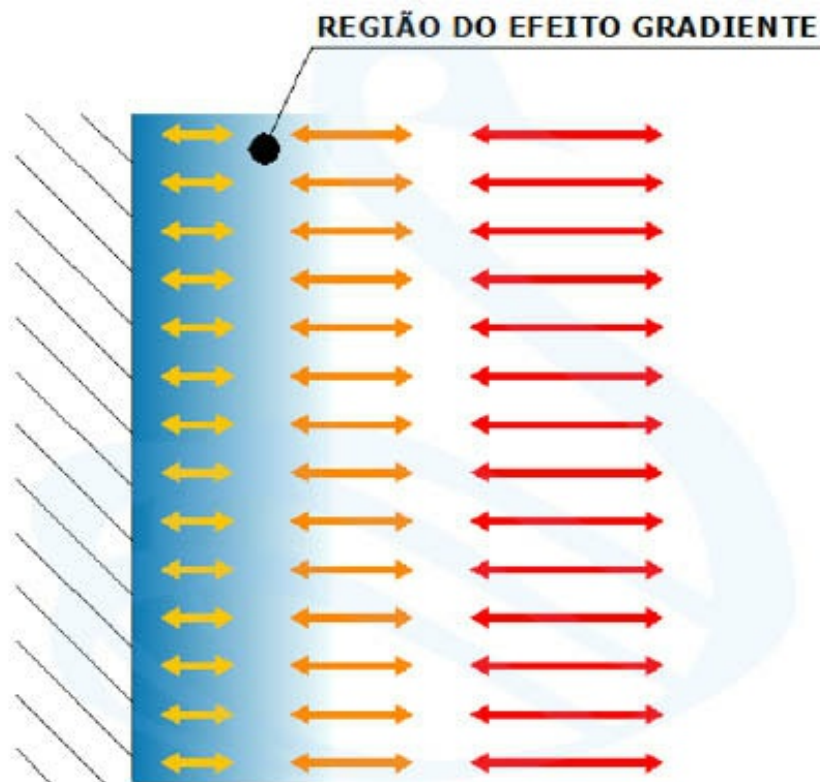


figura 3.43 efeito Gradiente aplicado a uma parede vertical acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Esse fenômeno é conhecido como efeito Gradiente.

E é ele que governa vários aspectos da absorção sonora. Como estamos discutindo o comportamento dos absorvedores porosos, vamos ver de que modo o efeito Gradiente atua sobre a absorção dos absorvedores porosos.

Inicialmente, vimos que nos absorvedores porosos a absorção de energia é o resultado da fricção das partículas de ar em movimento contra as paredes dos materiais porosos ou das fibras. Logo, quanto maior a velocidade das partículas, mais energia é absorvida. Vimos também que a velocidade das partículas é proporcional à frequência do som que se propaga. Logo, a velocidade das partículas de sons de baixas frequências é reduzida.

Há duas razões pelas quais os absorvedores porosos de pouca espessura, montados contra superfícies rígidas, praticamente nada absorvem de baixas frequências.

A primeira razão é que a baixa velocidade das partículas associada às baixas frequências do som que atravessa a espessura do material absorvedor. A segunda razão é que, estando o absorvedor montado contra a superfície, suas partes mais internas coincidem com a região onde ocorre o efeito Gradiente. O que provoca a diminuição adicional da velocidade das partículas, que já era reduzida em função da frequência.

Pense num absorvedor de fibras de lã de rocha basáltica com espessura de 25mm colocado diretamente contra uma parede. Pense também num som com frequência de 100 Hz. Quando esse som incide sobre o absorvedor ele penetra sua espessura, mas nas proximidades da parede refletente praticamente não qualquer movimento de partícula. O que é parte do efeito Gradiente. E sem velocidade não há fricção. E sem fricção não há absorção de som. Isso explica porque os coeficientes médios de absorção publicados pelos fabricantes de materiais

absorvedores são tão débeis nas baixas frequências. O que também é possível perceber claramente nas figuras 3.45, 3.46 e 3.47.

Conhecendo essas razões estamos em condições de prever o que podemos fazer para aumentar a absorção das baixas frequências nos absorvedores porosos. A primeira delas é aumentar a espessura do absorvedor, o que aumenta a superfície do material que produz a fricção. Quando aumentamos a espessura do absorvedor, a parte dele que fica mais próxima da parede praticamente não tem função acústica nas baixas frequências, porquanto a parte externa trabalha as baixas frequências tanto mais quanto maior é a espessura.

A segunda coisa que podemos fazer é distanciar o absorvedor da superfície refletente, o que o afasta ou o tira da região do efeito gradiente.

Os resultados obtidos podem ser melhor avaliados pelos gráficos das figuras 3.45, 3.46 e 3.47 logo adiante.

Entretanto, se queremos uma atuação específica podemos calcular o afastamento que nos é mais conveniente.

Por exemplo, suponha que você queira atenuar a banda no entorno de 100 Hz. Sabemos que a velocidade das partículas atinge seu pico a $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda do som. No caso de 100 Hz, o comprimento de onda é: $\lambda = 344 / 100 = 3,44$ metros. Logo, o afastamento ideal seria $3,44 / 4 = 0,86$ m. Essa alternativa é usualmente inadequada para as paredes verticais por ocupar muito espaço. Mas poderia ser uma excelente opção para o caso de forros falsos.

Mas isso não é tudo. O efeito Gradiente também se faz sentir no interior dos absorvedores. Vamos analisar isso no tópico seguinte.

adiabático e isotérmico como consequência do efeito Gradiente Pense em alguém fumando um cigarro. O ar tragado caminha do exterior para a boca do fumante e, nesse trajeto, encontra a resistência ao fluxo no interior do cigarro. Essa resistência é o efeito da fricção entre as moléculas do ar em movimento e as superfícies das fibras do fumo. Podemos nos valer de uma figura para “enxergar” o fenômeno. Atenção para a figura 3.44.

Esta figura é uma variação da figura 3.43. O desenho mostra um tubo oco pelo interior do qual está passando ar. Inúmeras medições feitas em laboratório confirmam duas coisas. A primeira, que na região central do tubo as partículas de ar se movem como se não houvesse o tubo. Isto é, a propagação dos sons tende a se desenvolver normalmente. A segunda coisa é que bem próximo às paredes internas do tubo as partículas de ar praticamente não se movimentam, sendo caracterizadas pelo repouso.

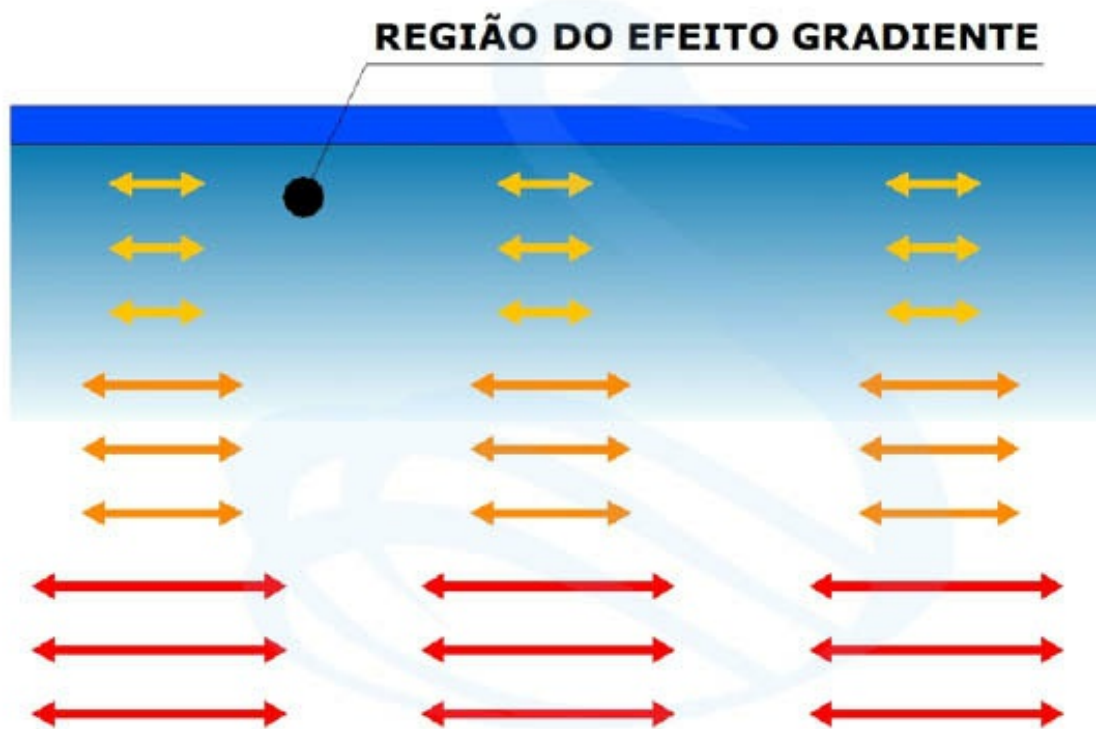


figura 3.44 efeito gradiente no interior de um tubo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Das paredes internas do tubo em direção ao centro, formam-se regiões nas quais ocorre um gradiente de velocidade. E ele é o responsável pelo cisalhamento das camadas adjacentes de ar. Ou seja, nessas regiões as partículas de ar deslizam umas sobre as outras. Como consequência da viscosidade do ar, a energia presente nas ondas sonoras é parcialmente absorvida. Esse processo gera um aumento diminuto da temperatura do ar, que é imediatamente trocado com as paredes do tubo. E isso restabelece a temperatura original Assim, no centro do tubo as compressões e rarefações do ar ocorrem adiabaticamente. Portanto, sem perda de calor durante a compressão. A alteração incremental da pressão no centro do tubo provoca mudança no volume do ar de acordo com a expressão

$$\Delta P = -\gamma C \Delta V \quad (3.8)$$

onde

- γ é a relação de calor específico do gás (para gases diatômicos como o ar $\gamma \approx 1,4$) e
- C é uma constante dimensional. O sinal negativo denota que o aumento da pressão provoca uma redução de volume e vice-versa. Vimos que nas regiões azuis da figura 3.44 o calor produzido pelas compressões do ar é neutralizado pelas paredes do tubo. Logo, as alterações incrementais de pressão ocorrem **isotermicamente**. Nesse caso, a relação entre as alterações de pressão e o volume é dada por

$$\Delta P = -C \Delta V \quad (3.9)$$

onde

- C é a mesma constante que a da expressão 3.8

A análise comparativa dessas duas equações mostra que em condições isotérmicas o gás é cerca de 40% mais compressível que em condições adiabáticas.

Tudo isso nos sugere que em espumas com células muito pequenas, ou em materiais feitos de fibra muito compactadas, portanto com pouco espaço entre as fibras, as alterações de pressão tendem a ocorrer isotermicamente nas baixas frequências. Porque há bastante tempo para que o calor seja trocado. Nas altas frequências, as camadas cinza das figuras 3.23 e 3.24 tornam-se muito finas em razão das rápidas inversões de compressões e rarefações, do que resulta pouco tempo para que o calor possa ser trocado com eficiência.

Como consequência, as alterações de pressão de sons de altas frequências ocorrem de forma adiabática.

A frequência de transição ocorre tipicamente entre 100 Hz e 1 kHz.

3.14.1.3 Propriedades dos Absorvedores Porosos Versus Coeficientes de Absorção Creio que nossa melhor opção para associar rapidamente o efeito das propriedades dos absorvedores sobre os coeficientes de absorção é analisar como estes em resposta a alterações individuais de cada uma das propriedades, mantendo-se invariáveis todos os demais parâmetros e propriedades.

A figura 3.45 mostra três gráficos.

Todos eles resumem os coeficientes médios de absorção sonora do mesmo material poroso, que tem a mesma espessura de 50 mm e a mesma montagem. A única propriedade que fiz variar foi a resistência específica ao fluxo.

No gráfico da esquerda, $R_1 = 50$ rayls/m. No gráfico central $R_1 = 500$ rayls/m e, finalmente, no gráfico da direita $R_1 = 5000$ rayls/m. A figura 3.46 anda na mesma linha da figura 3.45.

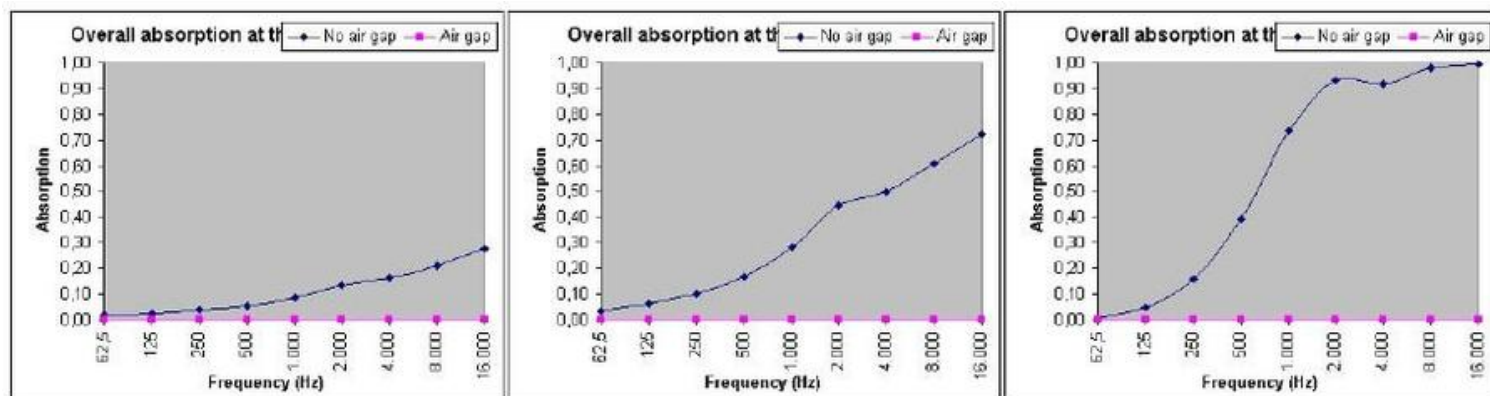


figura 3.45 efeitos da variação da resistência ao fluxo nos coeficientes de absorção sonora acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O material é o mesmo para os três casos, sempre montado da mesma maneira. A resistência específica ao fluxo é $R_1 = 1000$ rayls/m para todos os casos.

Agora, a propriedade que fiz variar foi a espessura do material. No gráfico da esquerda ela

é 10 mm. No gráfico central ela foi aumentada para 50 mm e, no gráfico da direita temos uma espessura de 200 mm.

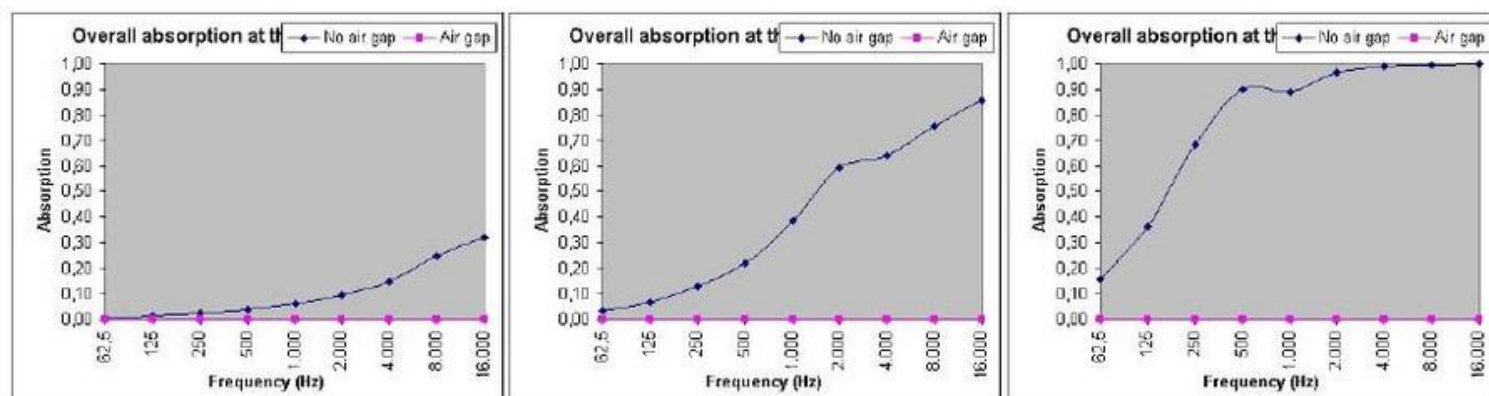


figura 3.46 efeitos da variação da espessura do material nos coeficientes de absorção sonora acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os três gráficos da figura 3.47 referem-se ao mesmo material, com espessura de 50 mm e com resistência específica ao fluxo $R1 = 1000$ rays/m.

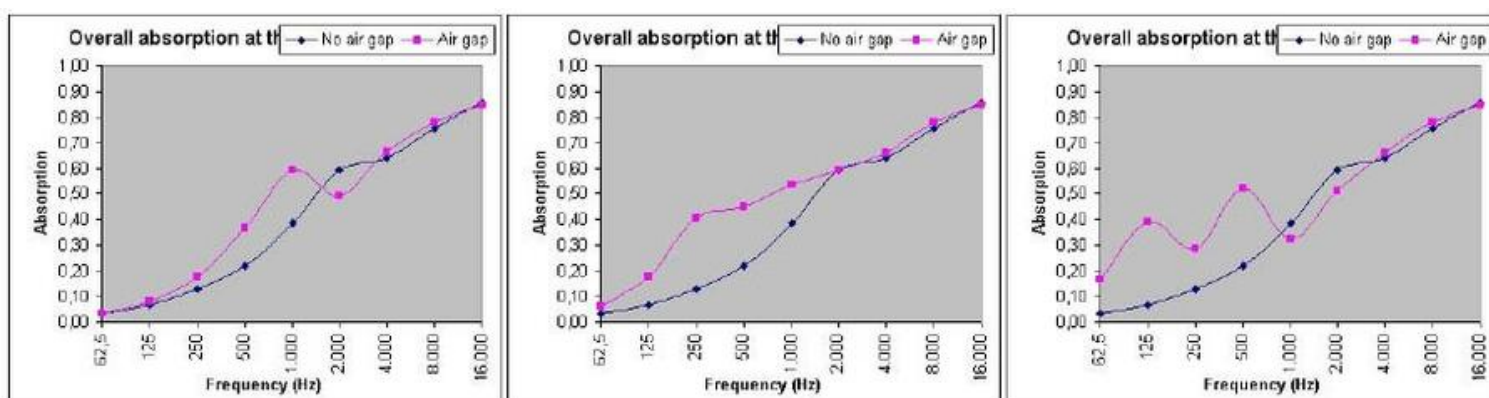


figura 3.47 efeitos da variação do colchão de ar atrás do material absorsor nos coeficientes de absorção acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A propriedade que fiz variar aqui foi o colchão de ar. Que é de 50 mm no gráfico da esquerda, de 200 mm no gráfico central e de 500 mm no gráfico da direita.

As correspondentes curvas são as assinaladas com pequenos quadrados. Note que há uma outra curva em cada um dos gráficos, estas assinaladas com pequenos círculos. Note também que essas curvas são coincidentes nos três gráficos. Isso ocorre porque essas curvas correspondem a colchão de ar nulo.

A análise cuidadosa de todos os elementos e parâmetros levados em conta nas figuras 3.45, 3.46 e 3.47, especialmente dos coeficientes de absorção, dará ao leitor uma excelente ideia de como podemos escolher os materiais e formular sua montagem para obter coeficientes de absorção mais em linha com nossas necessidades.

3.14.1.4 Revestimentos Transparentes Os materiais absorsores porosos podem ser encontrados na forma de painéis rígidos e semirrígidos. Mas eles também são fabricados com consistência física frágil, flexível e nada ou pouco rígida.

Esse é uma das razões pelas quais frequentemente se utilizam proteções mecânicas sobre os materiais absorsores. Uma das formas de se obter essa proteção é revestir com uma chapa metálica perfurada a face aparente do material absorsor.

MATERIAL ABSORSOR

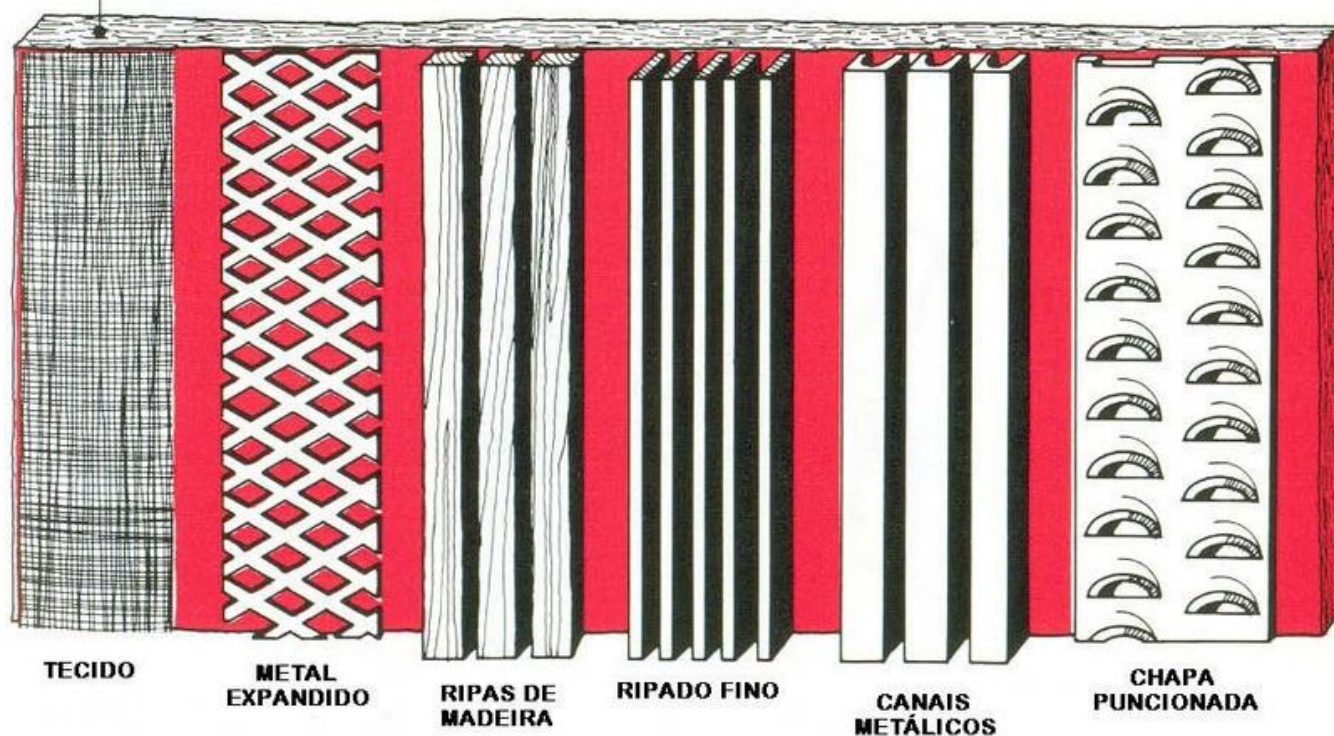


figura 3.48 várias possibilidades de revestimentos transparentes cortesia Bruel e Kjaer
Alternativamente podem ser utilizados produtos como treliças de madeira, chapas metálicas treliçadas, diversos tipos de ripados de madeira ou de ripados metálicos, etc. A figura 3.48 ilustra algumas dessas alternativas.

Nem sempre o revestimento é feito para assegurar proteção mecânica. De fato, por vezes o que se quer é um acabamento decorativo ou arquitetônico.

Como revestimento de proteção ou como elemento decorativo é preciso que o revestimento tenha influência desprezível sobre o comportamento acústico do absorvedor. Quanto mais acusticamente transparente for o revestimento menor será sua influência sobre o desempenho acústico do material absorvedor.

Então surge a pergunta “e como saber o quanto cada revestimento é transparente?”

Ora, essa não é uma questão subjetiva, mas bem objetiva.

Vamos começar com uma expressão matemática bem definida, que permite determinar com excelente margem de precisão o chamado Índice de Transparência Acústica - ITA.

$$ITA = 16,387 \frac{n.d^2}{e.a} \quad (3.10)$$

onde

- n é a quantidade de furos por cm^2
 - d o diâmetro dos furos em cm
 - e é a espessura da chapa, em cm e
 - a é menor distância entre dois furos em cm
- Esta expressão aplica-se a chapas metálicas perfuradas com furos redondos em quaisquer disposições, sendo as duas mais comuns a em linha e a alternada. Além dos furos redondos, as chapas poderão ter furos quadrados, hexagonais, losangulares, oblongos e retangulares. Em quaisquer desses casos basta calcular o diâmetro equivalente.

Vamos ver isso com um exemplo.

Seja um furo retangular com lados 0,8 cm e 0,5 cm .

A área desse furo é $0,8 \times 0,5 = 0,4 \text{ cm}^2$.

O diâmetro equivalente pode ser facilmente calculado se imaginarmos que 0,4 cm^2 é a área do furo circular.

Então, fazemos

$$\frac{\pi d^2}{4} = 0,4 \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,4}{\pi}} \cong \sqrt{0,51} \cong 0,7136 \text{ cm}$$

Procedemos do mesmo modo para qualquer outro tipo de furo.

Agora vamos a um exemplo de cálculo de ITA para uma chapa com as seguintes características:

- $n = 62 \text{ furos/cm}^2$
- $d = 0,06 \text{ cm}$
- $e = 0,047$ (chapa 26)
- $a = 0,08 \text{ cm}$

Nosso cálculo fica

$$ITA = 16,387 \frac{62 \times (0,06)^2}{0,047 \times (0,08)^2} = 12.160$$

Para outros casos de furação, a seguinte expressão pode ser empregada:

$$ITA = \frac{0,6555 \cdot P}{\pi \cdot e \cdot a^2}$$

Na expressão ITA, as variáveis representam: • P , o percentual (não um número fracionário)

de área aberta e $\bullet$ e e a são como na expressão anterior, ambas expressas em cm Uma vez que se tenha determinado o ITA do revestimento, podemos calcular a atenuação para a frequência de 10 kHz através da expressão

$$\text{atenuação} = -22,56 \log \log ITA + 0,008 \sqrt{ITA} + 13,79 \text{ dB} \quad (3.11)$$

Vejamos então qual seria atenuação em 10 kHz para o revestimento de nosso exemplo anterior

$$\text{atenuação} = -13,83 + 0,90 + 13,79 = 0,86 \text{ dB}$$

Para quem prefere não fazer contas, o gráfico da figura 3.49 facilita a tarefa de estimar a atenuação a 10 kHz.

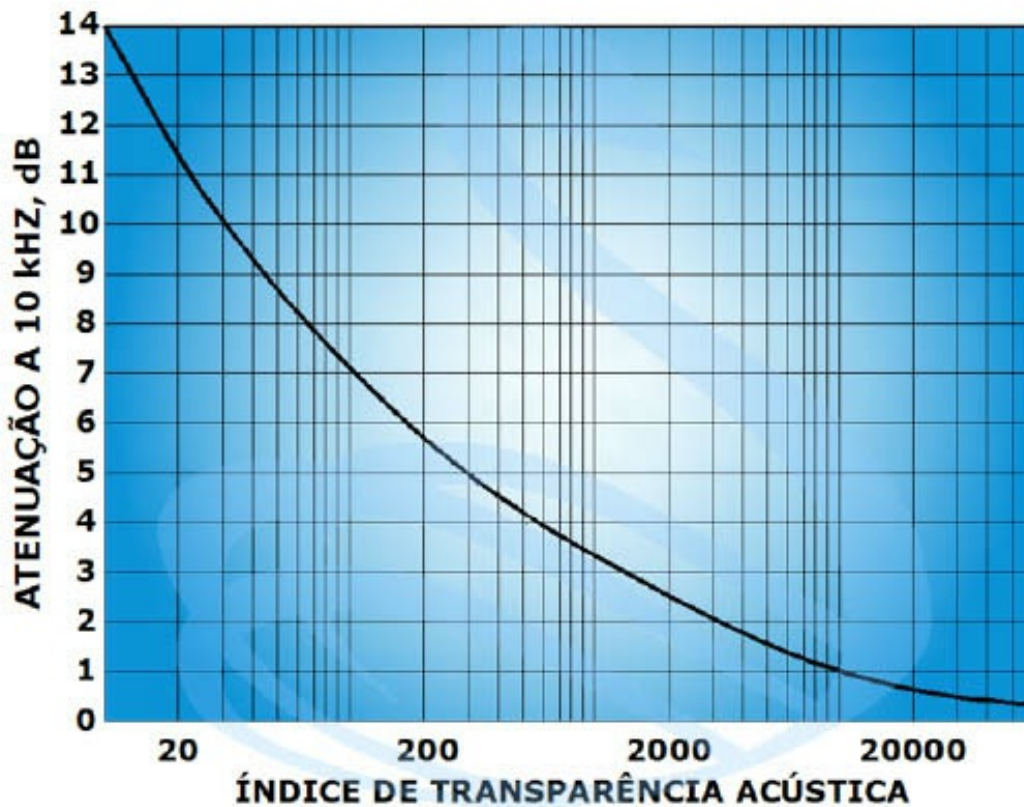


figura 3.49 gráfico para determinação da atenuação da absorção a 10 kHz acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Colocando a coisa de modo mais prático, um $ITA \geq 10000$ deve ser a escolha se pretendemos empregar um revestimento acusticamente transparente.

Com efeito, se $ITA = 10000$, a atenuação em 10 kHz não irá superar 1,0 dB. Abaixo de 10 kHz a atenuação cai rapidamente, de modo que o revestimento já não tem qualquer influência sobre a região do espectro de maior interesse da acústica, isto é, até a oitava centrada em 4 kHz.

Alguns autores defendem o uso de revestimentos transparentes com ITA tão baixo quanto 5000, o que produz atenuação de 1,5 dB em 10 kHz. Outros vão ainda além, advogando o uso de materiais com ITA de 2000, o que produz atenuação de 2,5 dB em 10 kHz.

A análise das expressões anteriores mostra que o ITA aumenta com o aumento do diâmetro dos furos e com o aumento da quantidade de furos por cm^2 . E ele diminui com a redução da espessura da chapa e com a redução da distância entre furos.

Também podemos concluir que o ITA aumenta com o aumento da área percentual perfurada. Mas não se essa área aumentar como consequência de furos maiores e mais distanciados entre si. Deixo como exercício fazer os cálculos de situações que comprovem a afirmação acima para quem quiser.

Assim, os mais elevados ITA resultam de grande quantidade de furos por cm^2 , com furos de diâmetros muito reduzidos. Mas possivelmente a escolha de chapas com furos muito pequenos também não é boa opção prática. Com esses furos, as chapas tendem a ser mecanicamente bem mais frágeis, difíceis de fabricar e, por isso mesmo, mais caras, além do que furos muito pequenos estão bem mais sujeitos a entupimento por manutenção, como pintura, ou até por ação de sujeira.

Uma consulta rápida às tabelas dos fabricantes de chapas perfuradas exibirá elementos que permitirão cálculos capazes de mostrar que a maioria dos produtos mais populares já possui ITA no entorno de 10000.

A figura 3.50 mostra chapas metálicas com perfurações percentuais de 48%, 37% e 23%.

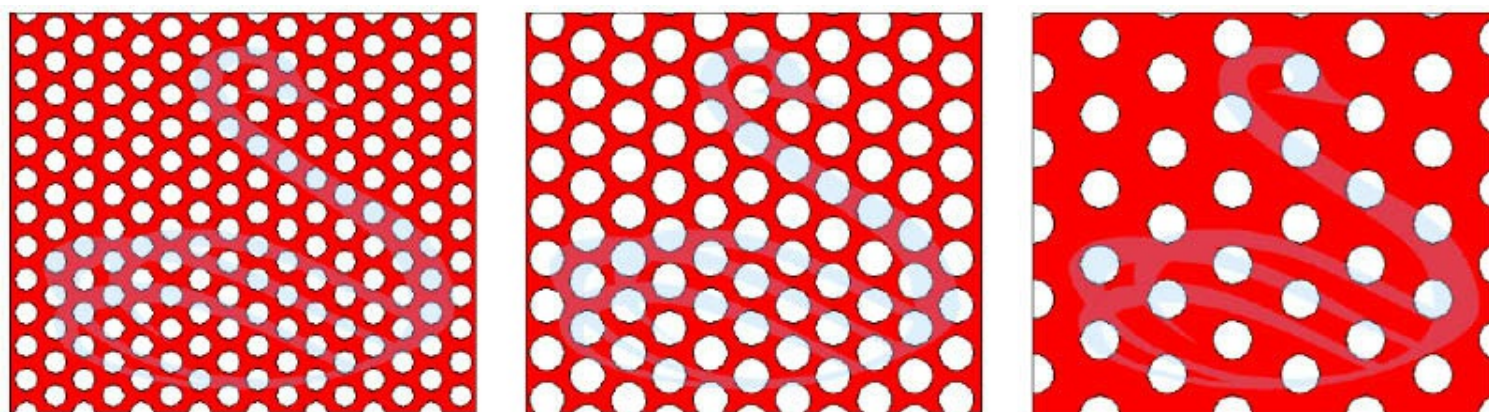


figura 3.50 chapas metálicas com percentuais de perfuração de 48%, 37% e 23%
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

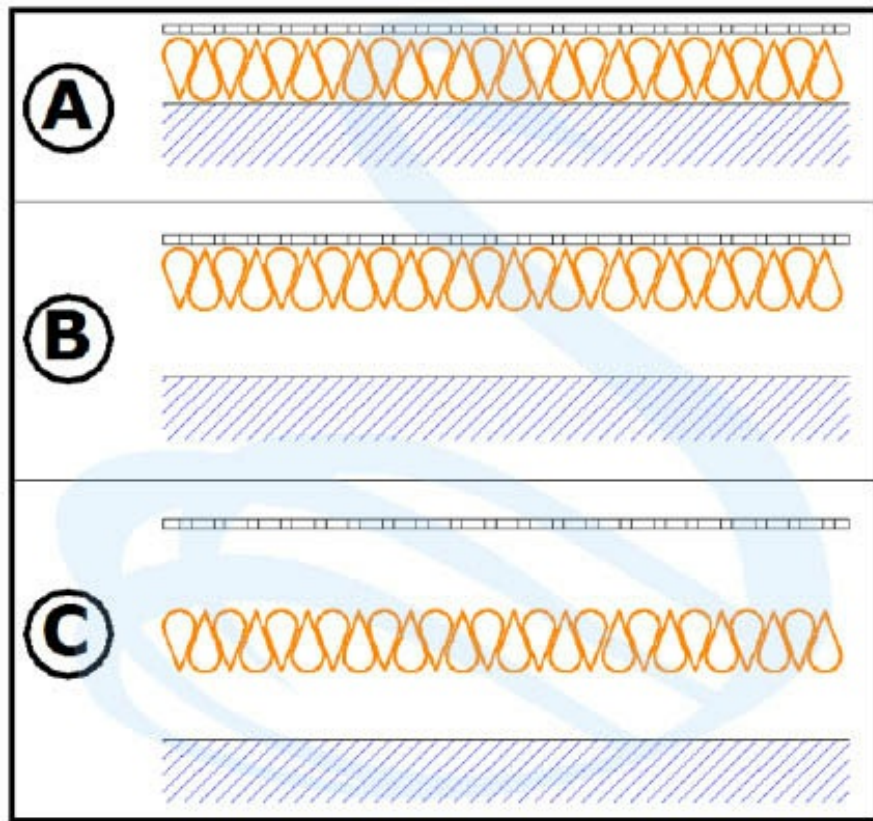


figura 3.51 arranjos possíveis para colocar o revestimento transparente sobre o material absorvedor
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Podemos imaginar várias formas de colocar o revestimento sobre o material absorvedor. É o que nos mostra a figura 3.51. Na figura 3.51.A o revestimento é colocado diretamente sobre o material absorvedor, que por sua vez é colocado diretamente sobre a parede. O arranjo da figura 3.51.B é semelhante, com a diferença de haver um colchão de ar entre o material absorvedor e a parede. A figura 3.51.C mostra que o revestimento foi aplicado a uma certa distância do material absorvedor, que por sua vez também está espaçado da parede.

Testes efetuados no Riverbank Laboratories de Genebra mostraram claramente que o ITA é muito elevado nas condições das figuras 3.51.A e 3.51.B. Mas que as demais condições, inclusive a da figura 3.51.C, reduzem significativamente os coeficientes de absorção. O principal motivo disso é o afastamento entre o revestimento e o material absorvedor.

3.14.1.5 Obstrução dos Poros e das Fibras Se um filme muito fino de polietileno for colocado sobre um material absorvedor poroso há uma sensível redução da absorção sonora do material absorvedor. Esta redução manifesta-se principalmente acima de 500 Hz. Também há perda de absorção acústica abaixo dos 500 Hz, mas quanto mais baixa é a frequência menor é a perda imposta pela obstrução.

As perdas também aumentam com a espessura do filme de polietileno.

3.14.1.6 Absorvedores ou Isolantes?

Muita gente confunde a aplicação dos materiais acusticamente absorvedores com materiais isolantes acústico, os quais discutiremos adiante.

Fui testemunha de inúmeros casos nos quais a ideia central era obter um baixo nível de

ruído ambiente (NRA) na sala. E por não se ter prestado a menor atenção às estruturas das paredes, teto, etc., se julgou que bastaria construir qualquer coisa, e depois forrar internamente tudo com material acusticamente muito absorsor.

Resultados: literalmente catástrofes do ponto de vista acústico (se você ainda não percebeu porque, já vai ficar logo claro), e financeiramente, montanhas de dinheiro jogadas fora.

3.14.2 Painéis de Ação Diafragmática Acabamos de discutir os absorsores porosos. Vimos que praticamente todos esses materiais absorvem altas frequências com extraordinária eficiência, absorvem bem as médias frequências, mas não são exatamente adequados para absorver as baixas frequências.

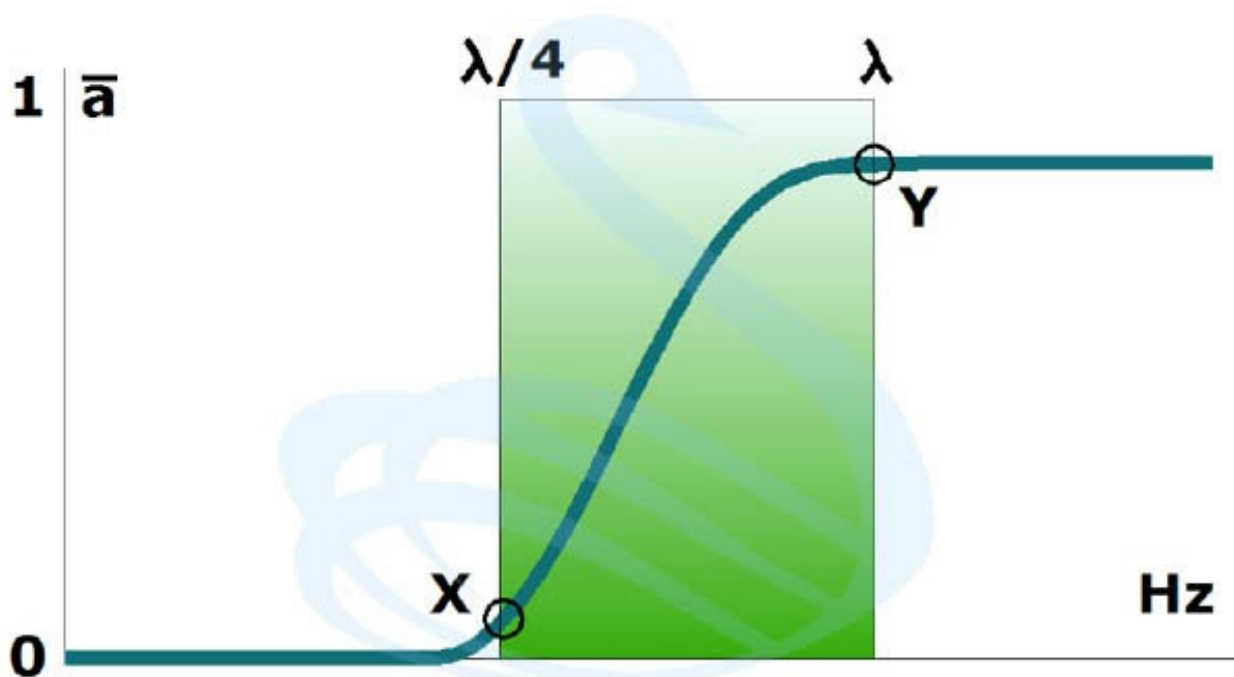


figura 3.52 gráfico típico de absorção de um absorsor poroso acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Com efeito, se tomarmos um gráfico típico de absorção como o da figura 3.52, podemos definir com razoável precisão o ponto X, onde o material começa a absorver sons e, também, com a mesma precisão, o ponto Y, onde o material se aproxima de um patamar além do qual a absorção não aumenta muito mais.

Pois bem, para a maioria dos materiais, o ponto X ocorre quando sua espessura é aproximadamente $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda do som considerado. E o ponto Y ocorre quando a espessura do material é aproximadamente igual ao comprimento de onda.

Como a espessura de um dado produto, como um painel de fibra de vidro, é invariável, podemos concluir dizendo que os materiais porosos começam a absorver sons de frequência tal que o correspondente comprimento de onda é igual a quatro vezes a espessura do material. Também podemos concluir que a absorção é máxima para sons de frequência tal cujos comprimentos de onda sejam da mesma ordem de grandeza que a espessura do material.

Vejamos isso com um exemplo.

Queremos utilizar um painel de lã de rocha para absorver sons no entorno de 100 Hz. Qual

deverá ser a espessura de nosso material?

Sua espessura mínima deverá ser

$$espessura = \frac{1}{4} x \lambda = \frac{1}{4} x \frac{v_s}{F} = \frac{1}{4} x \frac{344}{100} = 0,86 m$$

Esses 0,86 metros correspondem a $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda do som de 100 Hz. Ora, essa espessura parece ser impraticável para a maioria dos casos. Fora o preço.

É por esse motivo que os absorsores porosos dificilmente são usados para absorver as baixas frequências.

Esse trabalho é mais adequado para os absorsores que vamos discutir daqui para frente.

Provavelmente, o mais simples dos absorsores não porosos sejam os painéis de ação diafragmática. Estamos falando de painéis simples montados a uma certa distância das superfícies rígidas.

Os painéis devem apresentar uma certa flexibilidade para que possam trabalhar acusticamente. Ainda assim, é costume dividi-los em duas famílias: a das membranas, que são painéis muito flexíveis e os painéis rígidos. Apesar do nome, esses últimos não são tão rígidos quanto o nome faz supor. Eles podem ser construídos com madeira compensada naval ou convencional, com MDF ou HDF, com chapas de OSB, com grande variedade de chapas de fibra prensada, com lâminas plásticas, com painéis rígidos e semirrígidos de fibra de vidro, com chapas metálicas, com chapas de fibrocimento, com placas de gesso, com panos de vidro, com CTCs (compósitos termoplásticos celulólicos), com chapas tipo eucatex, duratex e duraplac, com chapas de aglomerados de diversas naturezas, com composições de duas ou mais camadas de quaisquer desses materiais, *etc.*

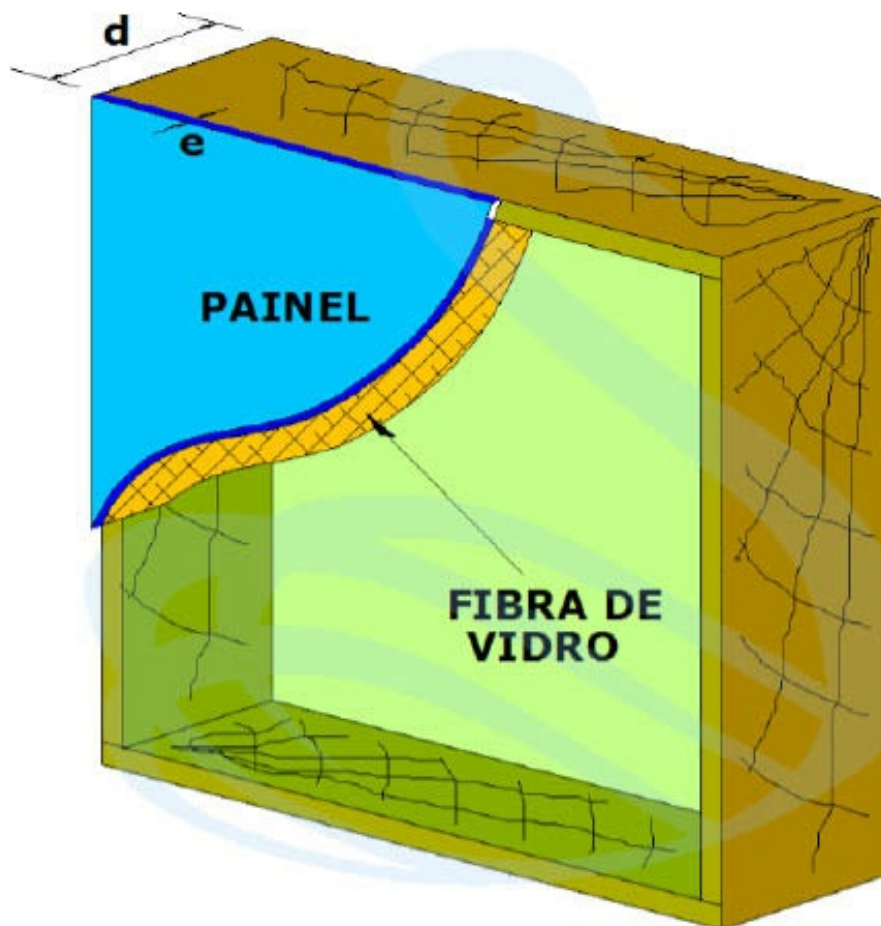


figura 3.53 painel de ação diafragmática acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As chamadas membranas também são painéis como os anteriores, mas elas são denominadas assim por serem bem mais flexíveis do que os painéis dos quais falamos até aqui. Um exemplo de membrana seria uma ou mais camadas de feltro betuminoso, de lonas especiais e outros.

O painel em si precisa ser instalado a uma certa distância de uma superfície rígida e, o mais importante, de maneira a enclausurar a massa de ar que fica entre a superfície rígida e o painel.

Isso é relativamente fácil de conseguir se os painéis forem suportados por uma moldura contínua, percorrendo todo o seu perímetro, como mostra a figura 3.53.

Nessas circunstâncias, quando os sons incidem sobre os painéis, provocam sua imediata reação. Porque eles passam a vibrar. Essas vibrações provocam a flexão das fibras do painel, com amplitude proporcional à intensidade da energia incidente. O ar enclausurado por trás do painel trabalha como se fosse uma mola atrelada ao painel. Ou seja, quando o painel flete aproximando-se da parede, o ar enclausurado é comprimido e procura restabelecer sua condição original. E com isso empurra o painel de volta. Quando o painel flete e se afasta da parede, o ar enclausurado é rarefeito e, como antes, procura restabelecer seu equilíbrio. E nesse caso “puxa” o painel.

Esse sistema é muito semelhante ao da figura 3.1, e o princípio físico por trás de ambos é o mesmo: efeito massa-mola.

Já as membranas devem ser estiradas por cima da moldura, sendo fixadas nas bordas do quadro de forma que as membranas fiquem muito retesadas. Como uma pele de tambor.

Dessa maneira, com painéis mais rígidos ou mais flexíveis, as perdas friccionais das fibras dos painéis acabam determinando a absorção dos sons.

Uma das vantagens desse tipo de absorsor é que ele pode ser construído para trabalhar num particular segmento de frequências desejado.

A massa do painel e a compressibilidade do ar enclausurado formam um sistema ressonante. A frequência de ressonância pode ser aproximadamente calculada pela expressão:

$$F_R = \frac{598,7}{\sqrt{m.d}} \quad (3.12)$$

onde

• m é a densidade superficial do painel em Kg/m^2 , e • d é a distância entre o painel e a superfície rígida, em centímetros. A expressão não é exata porque considera que a incidência dos sons aconteça sempre perpendicularmente ao painel. O que sabemos, não é verdade. Mas o grau de tolerância é aceitável pela maioria dos profissionais que lida com acústica.

Portanto, podemos estabelecer uma frequência de ressonância desejada, e a partir da expressão 3.12 combinar alguns pares de densidade do painel e distância da parede, para que o resultado seja aquela frequência. Na qual o painel é mais absorvedor.

A expressão 3.12 nos informa que tanto mais elevada será a frequência de ressonância quando maior for a densidade superficial do painel e quanto maior for a distância entre o painel e a parede.

A absorção é máxima na frequência de ressonância.

Agora que vimos como trabalha o painel de ação diafragmática, podemos ver alguns de seus muitos outros nomes. Sim, porque painel de ação diafragmática é apenas um dos nomes que o produto recebe. Os outros são painel diafragmático, absorvedor de membrana, absorvedor diafragmático, painel reativo, painel ressonante, absorvedor de painel e outros.

Talvez seja bom falarmos um pouquinho de cada um desses nomes. Isso nos dará uma noção de sua origem.

O termo diafragma refere-se ao painel especificamente, e mais ainda à sua forma de trabalhar com flexões, como se fosse mesmo um diafragma. O termo membrana está ligado ao material selecionado para a confecção do dispositivo. Reativo é o nome dado ao painel em virtude de seu trabalho mecânico. Isto é, do painel trabalhar com flexões em resposta ao som incidente. O que não acontece com os materiais porosos e que, por isso mesmo, não se enquadram nessa denominação. O termo ressonante advém do fato de ser possível calcular a frequência de ressonância, ou construir o painel para trabalhar no entorno da frequência desejada. E, naturalmente, até mesmo sintonizar o painel.

Gostaria de introduzir agora o conceito do fator de dissipação do painel. Que em termos matemáticos pode ser expresso por

$$Q = \frac{F_R}{\Delta F} \quad (3.13)$$

onde

- Q é o fator de dissipação
- FR é a frequência de ressonância do painel, e
- DF é a largura da banda definida pelos pontos à direita e à esquerda da frequência de ressonância, em que a absorção cai 3,0 dB em relação à absorção máxima.

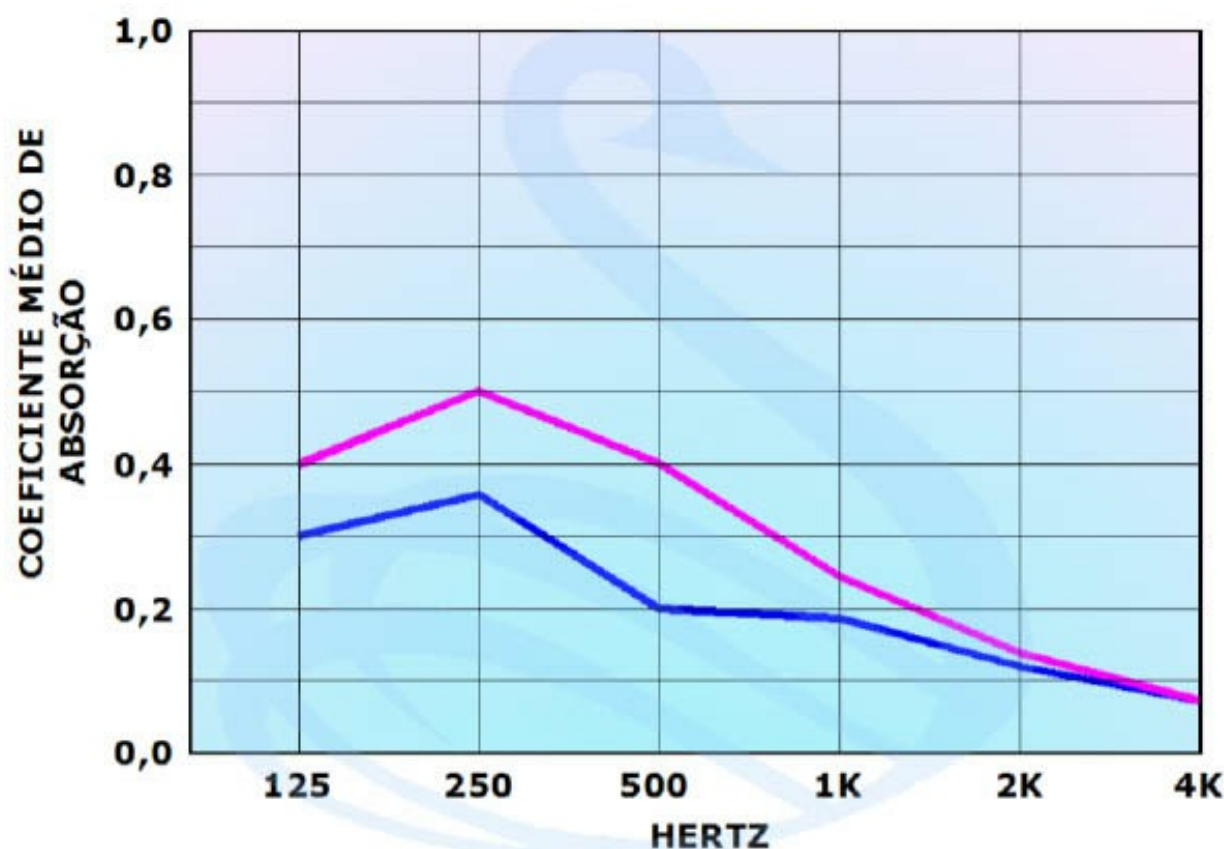


figura 3.54 coeficientes de absorção dos painéis de ação diafragmática acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O tipo de gráfico da figura 3.54 é muito utilizado não só para mostrar os coeficientes de absorção dos absorvedores, mas também para apresentar os dados de forma tal que possamos ter uma noção visual de conjunto da absorção acústica por todo o espectro de interesse. Naturalmente, o fator de dissipação dos absorvedores também pode ser estimado por gráficos como estes.

O caso específico da figura 3.54 refere-se a um painel de ação diafragmática construído com madeira compensada com espessura de 4 mm, instalado paralelamente a uma parede rígida de alvenaria, separado desta de uma distância de 5,0 cm.

Vemos duas curvas no gráfico. A curva inferior exhibe os coeficientes de absorção do painel instalado sem qualquer material entre ele e a parede. A curva superior mostra os coeficientes do mesmo painel, mas agora com lã de vidro preenchendo o espaço de 5,0 cm. Como mostra a figura 3.53, a lã de vidro é sempre aplicada sobre a face interna do painel.

Excelentes resultados são obtidos quando o painel mede cerca de 1m^2 , e a densidade da lã de vidro aplicada está entre 32 e 64 Kg/m^3 .

Voltando para a figura 3.54, podemos notar que a adição do material absorvedor aumenta os coeficientes de absorção nas frequências mais baixas, modificando o Q do painel.

Fatores de dissipação muito elevados são geralmente problemáticos, uma vez que significam absorção relativamente elevada, mas num segmento muito reduzido do espectro.

Abaixo de sua frequência de ressonância, os painéis de ação diafragmática são controlados pela compressibilidade do ar enclausurado. E acima dela, o controle passa a ser exercido pela massa do painel.

Por isso, todos os painéis desse tipo possuem elevados coeficientes de absorção na parte inferior do espectro, e valores que vão caindo progressivamente com o aumento da frequência.

Desse modo, eles constituem uma maneira bastante eficaz de controlar ressonâncias de baixas frequências em quaisquer ambientes.

Uma parte expressiva das melhores salas de música e de concerto de todo o mundo devem suas excelentes propriedades acústicas ao uso extensivo dos painéis de ação diafragmática.

Para obter resultados com esses dispositivos, não use madeira compensada com espessura superior a 6 milímetros. Porque o painel torna-se mais rígido, dificultando as vibrações que deve apresentar diante da incidência das baixas frequências.

Do ponto de vista construtivo, os painéis de ação diafragmática que vimos até aqui são os que o mercado considera os convencionais. Eles são construídos a partir de uma moldura retangular sobre a qual é aplicado um painel plano, este instalado paralelamente à parede que suporta o dispositivo.

Nessas condições, o painel absorve energia trabalhando apenas sobre uma parte do espectro de frequências, de acordo com seus parâmetros de projeto. A parte da energia não absorvida será refletida de volta.

Imagine então que seja possível construir o painel de uma outra maneira que não a convencional. O objetivo por trás desta ideia é fazer com que o dispositivo trate a energia refletida como se fosse um difusor de som.

Há muitas formas possíveis de se construir um painel de ação diafragmática com essas novas características. A figura 3.55 ilustra algumas delas.

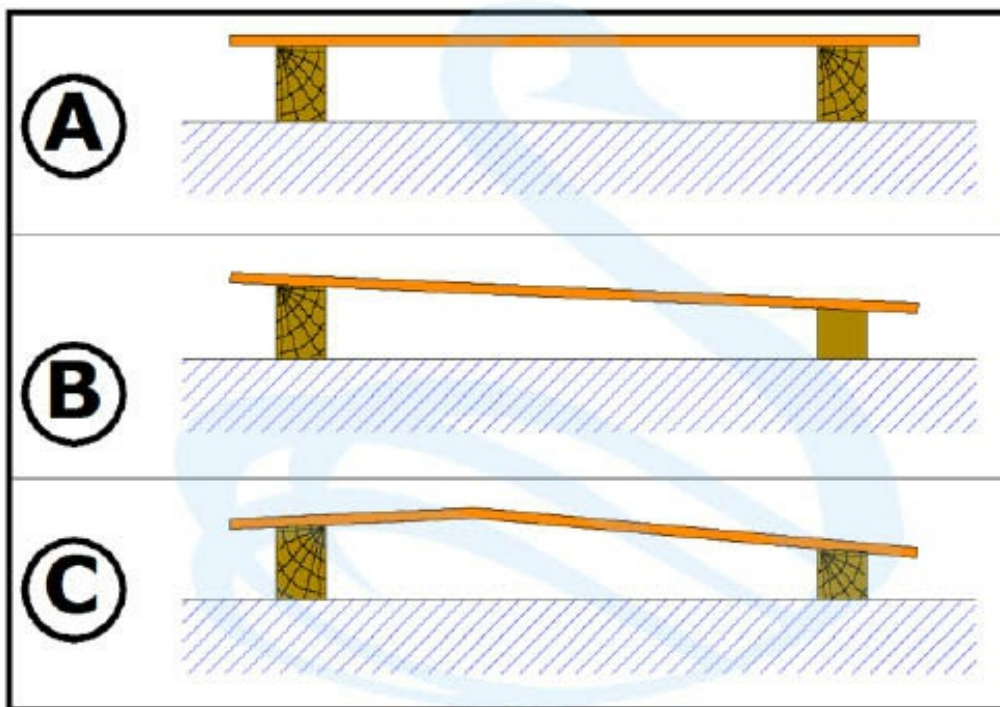


figura 3.55 alternativas geométricas para a construção dos painéis de ação diafragmática acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 3.56 forma de construtiva de painel de ação diafragmática, na qual todos os painéis acabam fugindo da posição vertical Catedral do Espinheiro, Recife, Pernambuco acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 3.56 mostra uma das aplicações práticas desta ideia. Trata-se de uma instalação que fizemos há uns anos atrás na Catedral de Espinheiro, em Recife, Pernambuco.

A foto da esquerda mostra o madeiramento das molduras, deixando claro que a espessura da parte inferior é bem menor que a espessura da parte superior da moldura. Isso é feito para que o painel, mesmo que plano, acabe angulado em relação à vertical. E creio que isso fica evidente na foto da direita, na qual os painéis foram aplicados sobre as molduras da foto da esquerda.

3.14.3 Bass Traps, Tube Traps e Outros Traps Os bass traps podem ser construídos de inúmeras formas. Em sua maioria, eles são variações dos painéis de ação diafragmática.

A forma mais comum de bass trap é mesmo a de painéis, como vimos para os de ação

diafragmática.

A única diferença é que nos bass traps a escolha dos parâmetros de projeto é voltada para a absorção das baixas frequências, por vezes chegando aos 40 Hz.



figura 3.57 alternativas geométricas para a construção dos painéis de ação diafragmática acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 3.58 bass trap de canto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra forma de bass trap são os bass trap de cantos. É o que mostram as figuras 3.57 e 3.58.

Há também os traps cilíndricos, conhecidos como tube traps e nomes semelhantes. Esses dispositivos são de construção bem especial, como nos mostra a figura 3.59.

Na figura estão outras formas, especificamente a semicircular e a quadrada. Mas, como se pode depreender do que vimos até aqui, é possível dar a esse tipo de dispositivo qualquer forma que se possa imaginar. Inclusive aquelas customizadas que podem ser adaptadas a nichos e irregularidades construtivas em estúdios, salas de audição e quaisquer outros locais.



figura 3.59 bass traps cilíndrico, semicilíndrico e de seção quadrada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
3.14.4 Ressonadores de Helmholtz Os ressonadores de Helmholtz, ou ressonadores Helmholtz, ou ressonadores de cavidade, são dispositivos muito conhecidos entre os engenheiros de acústica e de áudio, além dos físicos.

Como mostra a figura 3.60, trata-se apenas de um recipiente enclausurando um certo volume de ar, que se comunica com o meio ambiente através de um gargalo, ou pescoço. O gargalo pode ser circular, de seção quadrada ou de qualquer outra forma geométrica. Assim, ele é sempre caracterizado por uma seção determinada e, obviamente, por seu próprio volume físico.

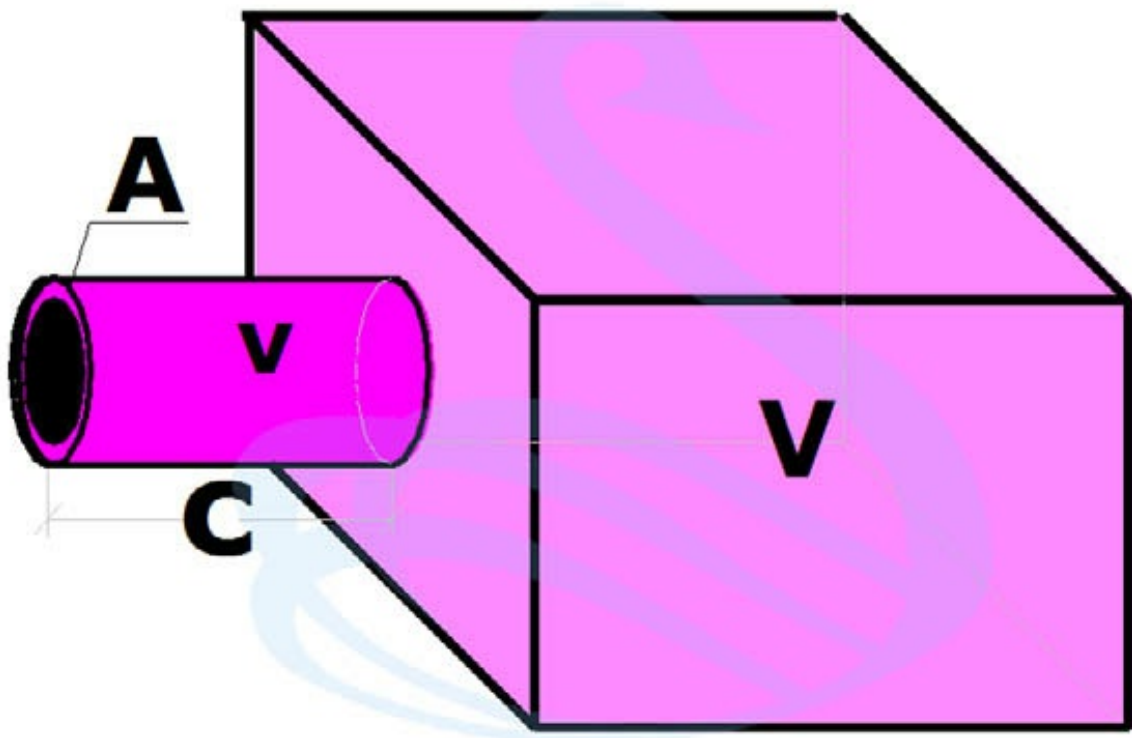


figura 3.60 ressonador de Helmholtz acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Qualquer semelhança entre esses ressonadores e as caixas acústicas com dutos não será mera semelhança. Até porque as caixas acústicas dutadas e todas as caixas espécies refletoras de graves são ressonadores de Helmholtz por excelência.

Quando uma fonte está produzindo som nas proximidades da parte externa do gargalo de

um ressonador de Helmholtz, as variações de pressão fazem com que as partículas da coluna de ar contida no gargalo oscilem para dentro e para fora, o que produz compressões e rarefações adiabáticas no interior do recipiente, ou cavidade.

Esse sistema é em tudo semelhante a um sistema massa-mola, como já vimos anteriormente.

De fato, com sua característica de elasticidade, o volume de ar no interior da cavidade trabalha como se fosse a mola, enquanto a coluna de ar no gargalo trabalha como se fosse a massa.

Ora, então o ressonador de Helmholtz não se vale de ondas estacionárias para funcionar, como ocorre com a maioria dos ressonadores acústicos.

Podemos resumir dizendo que o ar no interior da cavidade é posto a vibrar. E que a massa de ar no gargalo reage em função dessas vibrações, para formar um sistema ressonante do tipo massa-mola. A frequência de ressonância do sistema pode ser calculada por

$$F_R = 5.486x \frac{A}{\sqrt{V} \cdot v} \quad (3.14)$$

onde

• F_R é a frequência de ressonância em Hz • A é a área da seção transversal do gargalo, em centímetros quadrados, e • V e v são o volume da cavidade e o volume do gargalo, respectivamente, ambos expressos em centímetros cúbicos A expressão 3.14 nos mostra que a alteração do volume da cavidade, ou do comprimento e/ou diâmetro do gargalo, implicam na mudança da frequência de ressonância do sistema.

A absorção dos ressonadores de Helmholtz ocorre principalmente na frequência de ressonância.

A largura da banda de absorção é tipicamente muito estreita. Mas é possível ampliá-la por incremento do grau de fricção com o ar nas paredes internas do gargalo.

Por exemplo, uma garrafa de refrigerante é um autêntico ressonador de Helmholtz. Entretanto, a superfície interna de vidro do gargalo oferece muito pouca fricção para o sistema vibrante. Como resultado, a banda de absorção é extremamente reduzida.

Mas se revestirmos a superfície interna do gargalo com algodão, ou com qualquer outro material capaz de aumentar a fricção imposta pelo vidro liso, teremos duas consequências: a redução das amplitudes das vibrações, e com isso menor absorção, com a contrapartida do aumento significativo da banda de absorção, ou fator de dissipação do dispositivo.

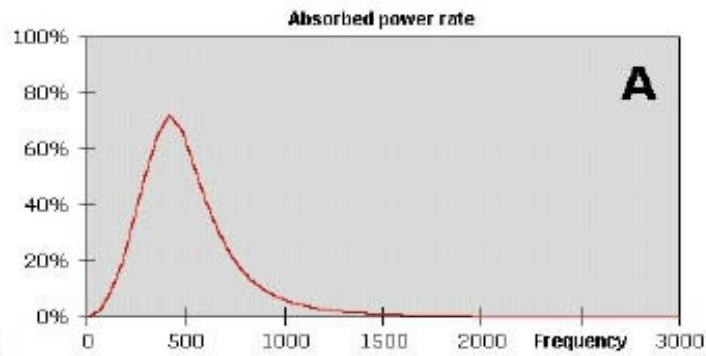
A figura 3.61 mostra três curvas de absorção para ressonadores de Helmholtz. Nos três casos os ressonadores possuem os seguintes parâmetros comuns:

- área do gargalo = 500 cm^2
- comprimento do gargalo = 10 cm
- volume da cavidade = 10.000 cm^3
- velocidade do som = 344 m/s
- densidade de ar = 129 kgf/m^3

Results

Results are given "as is".

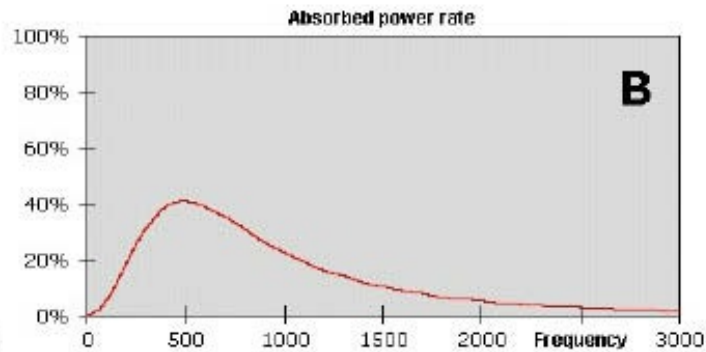
Neck length: 0.1 m
Neck section: 0.05 m²
Neck damping: 0 m
Cavity volume: 0.01 m³
Real(impedance): 1000 m
Fluid celerity: 340 m/s
Fluid density: 1.29 m/s
Maximum frequency: 3000 Hz



Results

Results are given "as is".

Neck length: 0.1 m
Neck section: 0.05 m²
Neck damping: 50 m
Cavity volume: 0.01 m³
Real(impedance): 1000 m
Fluid celerity: 340 m/s
Fluid density: 1.29 m/s
Maximum frequency: 3000 Hz



Results

Results are given "as is".

Neck length: 0.1 m
Neck section: 0.05 m²
Neck damping: 50 m
Cavity volume: 0.01 m³
Real(impedance): 25000 m
Fluid celerity: 340 m/s
Fluid density: 1.29 m/s
Maximum frequency: 3000 Hz

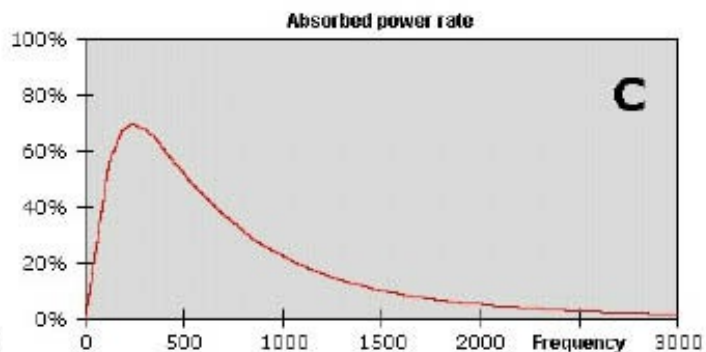


figura 3.61 características de absorção dos ressonadores Helmholtz sem e com amortecimento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A curva 3.61.A mostra os coeficientes de absorção do ressonador sem nenhum amortecimento no gargalo, e sem que o interior tenha qualquer tipo de revestimento fonoabsorvor. As paredes internas são muito lisas e a resistência ao fluxo que a cavidade apresenta para o movimento de ar é do próprio ambiente.

Já a curva 3.61.B foi traçada para a condição de haver amortecimento mediano imposto no gargalo do dispositivo. Todos os demais parâmetros foram mantidos constantes. Pode-se observar, portanto, a mudança radical da curva.

Fica patente a queda substantiva do pico de absorção de 75% para 40%, e em compensação a muito maior abrangência espectral.

Ainda mantendo o amortecimento do gargalo e revestindo as paredes internas da cavidade com lã mineral, aumentamos consideravelmente a resistência ao fluxo imposto no interior do dispositivo.

O resultado em termos de absorção pode ser facilmente visualizado na curva 3.61.C.

Duas coisas acontecem simultaneamente. O deslocamento da frequência de ressonância para baixo, no caso, em mais de uma oitava, e o aumento significativo da intensidade de absorção. O pico que atingia cerca de 40% superou os 70%.

Outra característica muito importante dos ressonadores de Helmholtz é que os sons não

absorvidos são rerrradiados de volta. Porém, por efeito de difração, a tendência é que eles sejam rerrradiados em todas as direções. Ou seja, a energia não absorvida é difratada. O que é desejável em praticamente todos os casos.

Os ressonadores de Helmholtz foram empregados muito antes do nascimento do próprio professor Hermann Ludwig Ferdinand Von Helmholtz. Os teatros romanos e os anfiteatros gregos os empregavam na forma de potes. Mais recentemente, também foram encontrados potes do mesmo tipo em igrejas medievais na Suécia e na Dinamarca. Praticamente todos esses potes continham areia. Pesquisas feitas recentemente mostraram claramente que a função da areia era reduzir o elevado Q da cerâmica e viabilizar o ressonador como absorvor de baixas frequências. Aparentemente, um eterno problema em quase todas as igrejas. Ademais, a variação do volume de cada ressonador de per si permitia e ainda permite obter os benefícios da acústica variável.

3.14.4.1 Formas Modernas Ressonadores como o da figura 3.62 certamente não seriam apreciados em teatros, tampouco em estúdios e nem em tantos outros ambientes. Portanto, foi preciso desenvolver formas específicas que permitissem sua aceitação e uso prático.

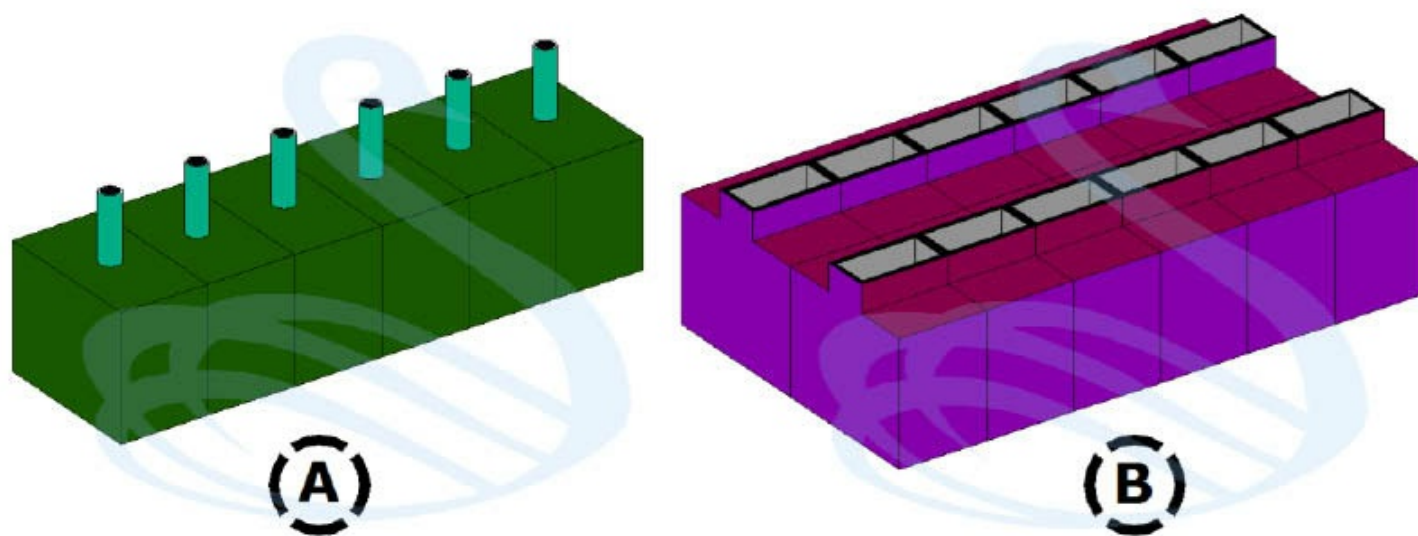


figura 3.62 montagens de ressonadores de Helmholtz que dão origem aos ressonadores atuais A.

Origem dos painéis perfurados B. Origem dos painéis “slat”

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 3.62 mostra dois tipos de montagem de ressonadores, que dão origem aos ressonadores de Helmholtz mais utilizados atualmente. Na figura 3.62.A temos uma situação equivalente à de uma caixa com comprimento, largura e altura iguais ao conjunto de ressonadores, cujo painel frontal possui tantos furos quantos são os pescoços, e espessura igual ao comprimento dos pescoços.

Na figura 3.62.B a equivalência é com uma caixa com comprimento, largura e altura iguais ao conjunto de ressonadores, mas que ao invés de possuir um painel frontal integral possui tiras de fechamento com largura igual ao espaçamento entre os pescoços, sendo que as tiras são espaçadas entre si na mesma medida da largura do pescoço. A espessura das tiras deve ser a mesma que o comprimento dos pescoços.

E assim nasceram os slats, discutidos adiante.

3.14.4.2 Absorvedores de Painéis Perfurados Do ponto de vista construtivo os absorvedores de painéis perfurados são muito semelhantes aos painéis de ação diafragmática. A diferença construtiva está no painel propriamente dito, que agora é perfurado.

Como nos painéis de ação diafragmática, os painéis perfurados podem ser construídos com madeira compensada naval ou convencional, com MDF, com HDF, com chapas OSB, com grande variedade de chapas de fibra prensada, com lâminas plásticas, com chapas metálicas, com chapas de fibrocimento, com placas de gesso, com CTCs (compósitos termoplásticos celulósicos), com chapas tipo eucatex, duratex e duraplac e com chapas de aglomerados de diversas naturezas. Há alguns materiais que são usados nos painéis de ação diafragmática mas são inadequados para uso como painéis perfurados. O motivo é que eles não se prestam a receber furação. Exemplo, panos de vidro.

Mas devo lembrar que não estamos mais interessados em obter um painel acusticamente transparente, mas sim uma combinação de arranjo de perfuração com profundidade de câmara de ar, com ou sem material fonoabsorvedor, que encoraje ao máximo o movimento das partículas de ar na frequência de interesse criando, deliberadamente, a ressonância nessa frequência. E por via de consequências a absorção.

A figura 3.63 ilustra o corte de um absorvedor de painel perfurado.

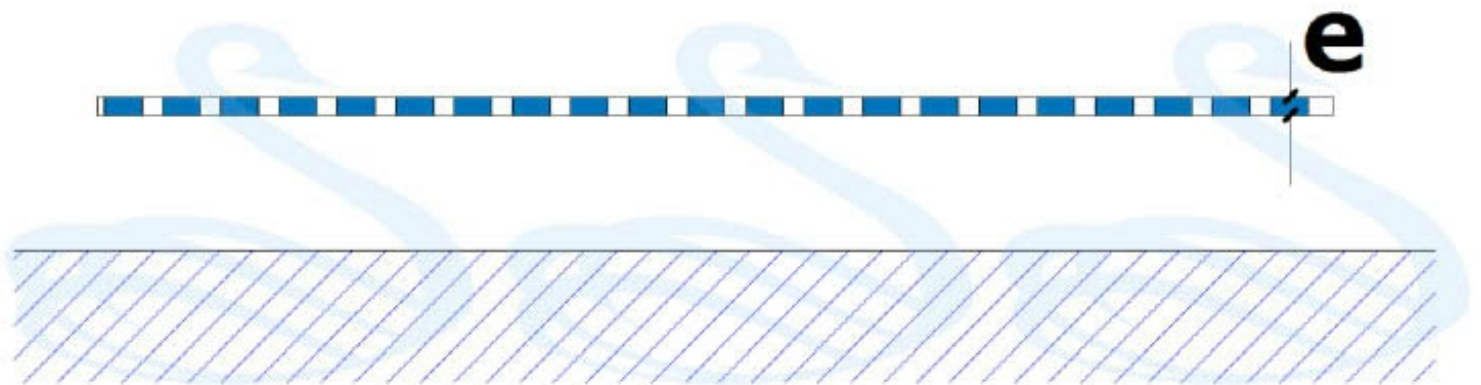


figura 3.63 corte lateral de um absorvedor de painel perfurado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Muitos autores consideram os absorvedores de painéis perfurados como uma classe à parte de absorvedores acústicos. Pessoalmente, prefiro enquadrá-los como uma variação de ressonadores de Helmholtz

Veja a figura 3.63. O volume do compartimento de ar que fica entre a parede que dá suporte ao dispositivo e o painel é o volume V da expressão 3.14.

Evidentemente o painel tem uma certa espessura e contém uma quantidade determinada de furos. Portanto, cada um desses furos tem seu próprio volume. De modo que o volume de cada furo multiplicado pela quantidade total de furos nos dá como resultado o volume de todos os furos do painel. Que é exatamente o volume v da expressão 3.14.

Por óbvio, cada furo tem sua própria área. A qual multiplicada pela quantidade total de

furos nos dá a área A da expressão 3.14.

Ora, se temos V , v e A da expressão 3.14, então podemos nos valer dela para calcular a frequência de ressonância dos absorsores de painéis perfurados. Da mesma forma que se calcula para os ressonadores Helmholtz. Ou por outra, podemos estabelecer que frequência de ressonância queremos e, a partir daí, determinar a combinação dos parâmetros A , V e v que levem a ela.

Lembro que estabelecer v significa estabelecer a quantidade de furos, os respectivos diâmetros, bem como a espessura do painel. A quantidade de furos e respectivos diâmetros implica num determinado percentual de área perfurada.

Também é preciso considerar que há várias combinações de espessura de painel com diâmetros dos furos e suas quantidades que resultam na mesma frequência de ressonância.

Em vista de todo o exposto não será difícil entender porque vejo os absorsores de painéis perfurados como autênticos ressonadores de Helmholtz. Apenas que os ressonadores possuem um só gargalo, enquanto os absorsores de painéis perfurados possuem muitos minigargalos, com equivalência de A e de v . Ou seja, para se transformar num absorsor de painel perfurado o gargalo do ressonador Helmholtz sofre um processo fractal.

Assim, a conceituação acústica e os princípios de absorção de energia nos ressonadores Helmholtz e nos absorsores de painel perfurado são rigorosamente iguais. Senão, vejamos.

Vamos tomar como base um absorsor de painel perfurado com uma camada de ar parcialmente preenchida com uma manta de material poroso. Podemos dizer que as oscilações são essencialmente o movimento das partículas de ar que entram e saem pelos furos do painel em resposta à onda de som incidente. Também podemos dizer que a frequência de ressonância é determinada pela massa de ar nas perfurações e pela elasticidade do ar por trás do painel.

Na frequência de ressonância o ar se move violentamente para dentro e para fora dos furos, o que acionando as partículas de ar na camada de ar parcialmente preenchida com material fonoabsor. Então, a energia acústica trazida pelo movimento das partículas de ar nos furos é dissipada, sendo convertida em calor pela fricção no material fonoabsor.

Quando pensamos nos materiais empregados para confeccionar os painéis, vemos que os furos precisam ser feitos. Usualmente com o auxílio de uma furadeira e de brocas. Eis porque em boa parte das vezes os furos são circulares.

Mas isso não é uma regra.

Com efeito, já vimos antes que as chapas metálicas podem ser encontradas com uma grande variedade de formas geométricas de furos, entre as quais estão os redondos, os quadrados, os hexagonais, os losangulares, os oblongos e os retangulares.

Para furos circulares, igualmente espaçados horizontal e verticalmente, é possível calcular

o percentual de perfuração através da expressão

$$P\% = 78,54 \times \left(\frac{d}{D}\right)^2 \quad (3.15)$$

onde

• $P\%$ é o percentual de perfuração • d é o diâmetro dos furos, em milímetros, e • D é o espaçamento horizontal e vertical, também em milímetros Exemplo. Queremos fazer furos com diâmetro de 6 milímetros, espaçados a cada 40 milímetros. Basta calcular

$$P\% = 78,54 \times \left(\frac{6}{40}\right)^2 = 1,8\%$$

Vimos anteriormente como calcular o diâmetro equivalente para furos não redondos. Assim, a expressão acima praticamente pode ser usada para furos com quaisquer geometrias, arranjos em quaisquer disposições. Para tanto, basta calcular o diâmetro equivalente.

Isto posto, podemos dizer que os painéis perfurados são utilizados principalmente para absorver baixas frequências, com elevados coeficientes de absorção.

Com a vantagem de ocupar pouco espaço em razão das tipicamente moderadas espessuras desses dispositivos.

Já vimos que a frequência de ressonância dos absorsores de painel perfurado pode ser calculada aplicando-se a expressão 3.14. Mas frequentemente se quer fazer o cálculo a partir do percentual de área perfurada do painel e da profundidade da cavidade que fica entre ele e a superfície rígida que suporta o dispositivo.

$$F_R = 508 \sqrt{\frac{p\%}{d \cdot s}} \quad (3.16)$$

onde

- F_R é a frequência de ressonância em Hertz
 - $p\%$ é o percentual de perfuração do painel
 - d é a distância entre o painel e a superfície rígida, em centímetros, e
 - s é a espessura do painel + $0,8 \times$ o diâmetro dos furos, em centímetros
- Uma vez que a frequência de ressonância tenha sido escolhida, as características de absorção podem ser alteradas de inserirmos material fonoabsorvor, como qualquer dos absorsores porosos, na camada de ar atrás do painel.

A figura 3.64 ilustra as três alternativas possíveis para a localização do material fonoabsorvor nessa cavidade.

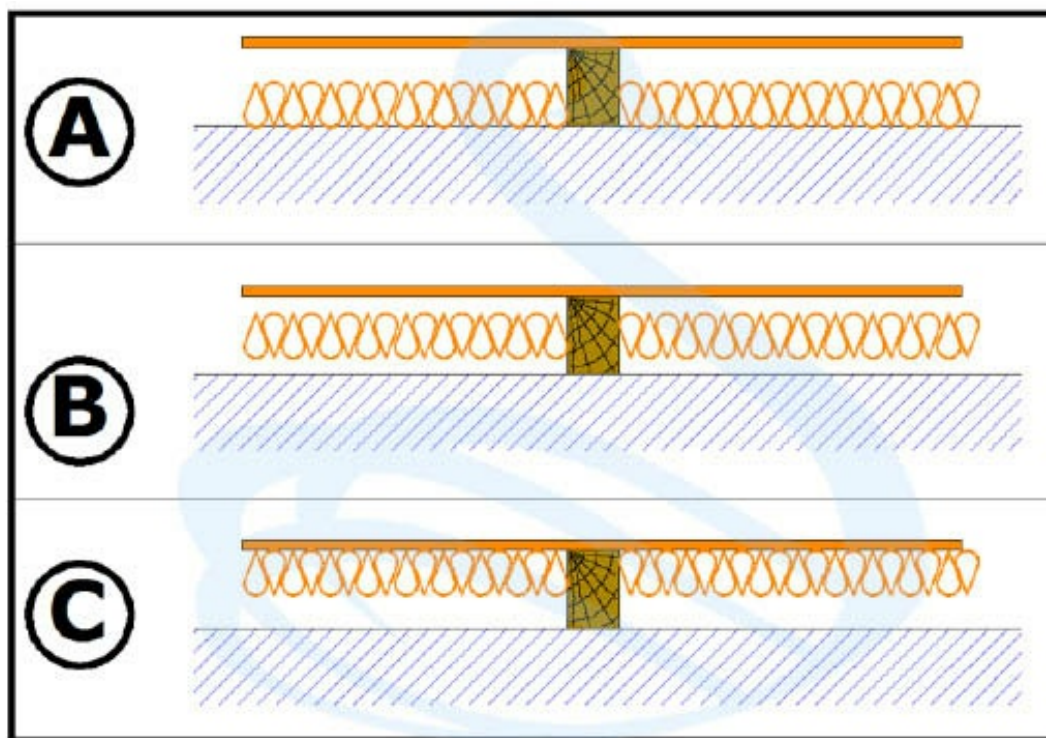


figura 3.64 localizações possíveis do material fonoabsorvor na cavidade de um absorvedor de painel perfurado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As curvas de absorção de cada uma das alternativas da figura 3.64 estão na figura 3.65.

Percebe-se, então, que o arranjo mais eficaz é aquele no qual o material fonoabsorvor fica encostado ao painel metálico.

Por outro lado, a pior condição é a do material fonoabsorvor encostado na superfície que suporta o dispositivo.

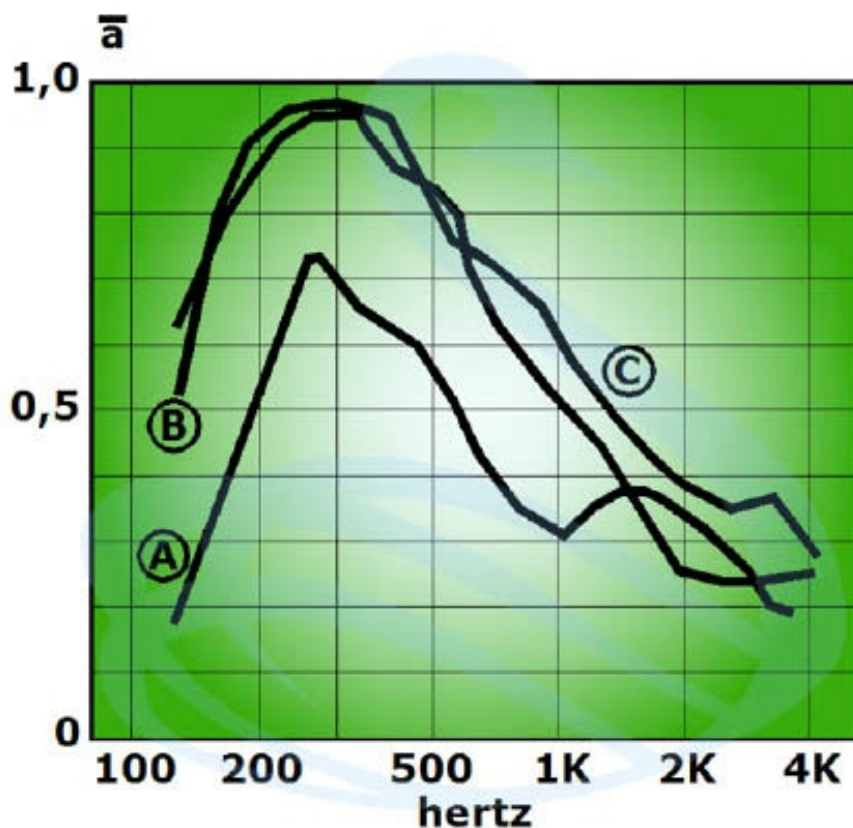


figura 3.65 curvas de absorção das localizações da figura 3.64

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outro aspecto muito importante nos absorvedores de painéis perfurados é o que fazemos com a cavidade que fica entre o painel e a superfície de suporte do dispositivo.

Se nada for feito, ela resultará contínua, sem quaisquer divisões. Mas poderemos dividi-la em células. Para tanto, usamos pequenas divisórias.

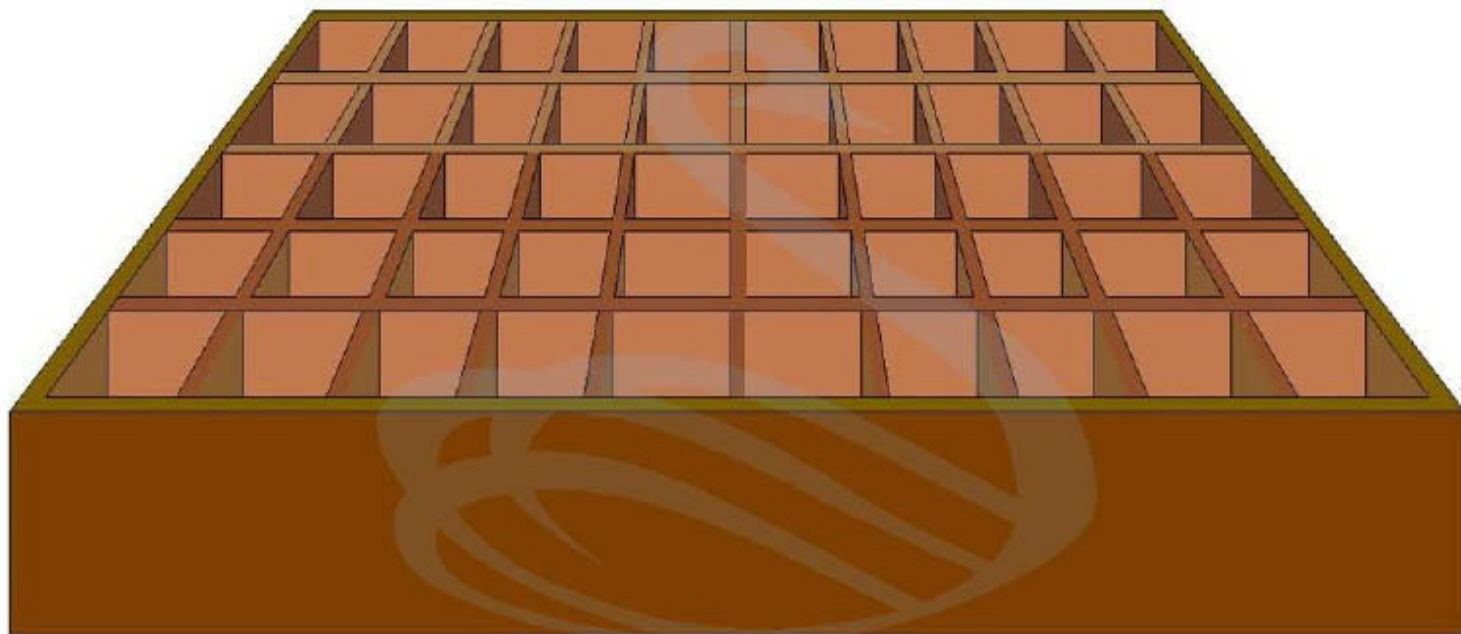


figura 3.66 uma das formas de dividir a cavidade em células acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 3.66 ilustra uma das maneiras de se dividir o espaço da cavidade em células menores. Bem, e porque todo esse trabalho? Porque, quando a cavidade é contínua, sem qualquer divisão, o comportamento do dispositivo varia bastante em função do ângulo de incidência do som.

A maior alteração é contatada na frequência de ressonância, que pode aumentar tão drasticamente quanto chegar a três oitavas em relação ao previamente calculado.

Além disso, a banda de frequências também fica muito reduzida quando o ângulo de incidência se afasta da incidência normal.

Outrossim, com a divisão da cavidade em pequenas células, a frequência de ressonância se mantém bastante constante, enquanto a banda de frequências aumenta ligeiramente quando o ângulo de incidência se afasta do normal.

Fui pesquisar entre os registros que dispúnhamos na Cysne Sound Engineering, correspondentes a nossos trabalhos, para descobrir se havia algo que pudesse ajudar a ilustrar a aplicação prática dos absorsores de painéis perfurados.

Até que me deparei com algumas fotos do Teatro Municipal de Barueri.

Ao avaliar cuidadosamente esse material, me dei conta de que, além de ilustrar o que queria, também poderia facilitar o entendimento de algumas ideias básicas que fazem parte de um projeto acústico próprio de um grande teatro.

Alguns dos conceitos aplicados no caso desse teatro ainda não foram vistos neste livro. Mas, mesmo invertendo a ordem de apresentação das coisas, estou seguro que, quando chegarmos lá, as coisas certamente ficarão bem mais fáceis.

Esse espaço comporta cerca de 700 pessoas sentadas confortavelmente. Projetei e conduzi os serviços de instalação do sistema de reforço de som desse espaço. Também projetei toda a acústica interna e de isolamento, que implementamos a quatro mãos juntamente com a Construtora Sobrena.

Bem, o material que selecionei está nas figuras 3.67 e 3.68.

A foto da figura 3.67 oferece uma visão panorâmica do recinto. Observando-a, notam-se claramente alguns aspectos que integram o projeto de comportamento acústico interno.

Como o suave declive do piso, acarpetado, a disposição radial das poltronas em relação ao palco, com testeira também radial, e a forma geométrica bastante irregular do forro.

Ao pensar na acústica interior, nossa primeira tarefa foi definir as formas internas do espaço, de modo a obter os resultados desejados. E ainda, de maneira que o cliente ficasse satisfeito, para que tivéssemos o seu de acordo para prosseguir.

Especialmente no que se referia aos movimentos de piso e de forro. O que conseguimos, superadas algumas poucas dificuldades, próprias desse tipo de projeto.

O desenho do forro foi elaborado com dois objetivos principais. Controlar por reflexão as ondas estacionárias que pudessem ser formadas no sentido vertical, e refletir ao máximo o som produzido no palco, conduzindo-o para a região da plateia com tanta homogeneidade de difusão quanto possível.



figura 3.67 aspectos do Teatro Municipal de Barueri, que comporta 700 pessoas sentadas. O sistema de sonorização foi projetado e instalado pela Cysne Sound Engineering, que também projetou toda a acústica interna e de isolamento. As fotos ilustram algumas das ideias do projeto acústico e mostram nas paredes ao fundo da foto a utilização prática dos painéis acústicos empregados.
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Desse modo, e como mostra a foto, a altura do forro, de aproximadamente 9,0 metros na região do corredor que fica entre a primeira fila e o palco, vai diminuindo daí para o fundo do recinto, onde termina com algo em torno de 2,70 metros.

Por isso, e porque não nos foi possível localizar a cabine técnica no plano da plateia, tivemos que projetá-la totalmente incrustada no forro.

Para tornar essa ideia factível, fomos obrigados a desenhar uma espécie de nicho no fundo do forro, em sua parte central, onde sobressaem inúmeros recortes geométricos. Como mostra a parte direita da figura 3.67.

De forma a obter o tempo de reverberação colimado, foi preciso que tomássemos uma série de providências técnicas.

Inicialmente, utilizamos uma variedade customizada de carpete, aplicado sobre uma forração desenvolvida para que o coeficiente de absorção em médias e altas frequências resultasse típico, mas relativamente muito absorsoivo nas baixas frequências.

O forro foi construído com gesso acústico muito reflexivo, acima do qual foram aplicadas várias camadas de lã de vidro muito espessas, de média densidade.

O objetivo dessa aplicação foi, sem prejudicar o grau de reflexão desejado na parte interna do espaço, amortecer ao máximo todo o som que pudesse se instalar na caixa superior, formada pela face superior do forro, em seu plano inferior, pelo telhado em seu plano superior, e por todas as estruturas verticais, que lhe conferem confinamento.

Quanto às poltronas, foi escolhido um revestimento com estofamento especial, de sorte que o tempo de reverberação resultasse aproximadamente o mesmo com qualquer ocupação da casa, inclusive vazia ou lotada.

Projetamos todas as paredes verticais com superfícies bem reflexivas, construídas com blocos de concreto pintados, intercaladas com superfícies muito absorsores, contendo dois

tipos diferentes de absorvedores de painéis perfurados e três tipos diferentes de painéis de ação diafragmática.

Utilizamos esta técnica para obter o tempo de reverberação desejado, e também, para controlar o efeito das ondas estacionárias.

A foto da figura 3.68 focaliza detalhes das colunas de blocos e dos dois tipos de absorvedores de painéis perfurados utilizados.



**figura 3.68 detalhes dos absorvedores de painéis perfurados instalados no Teatro Municipal de Barueri
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nesta foto, o painel de baixo possui os furos de maior
diâmetro. Acima deste está o outro tipo absorvedor de painel perfurado, com furos de menor diâmetro. E
acima deste, infelizmente a figura não mostra, está um dos tipos de painel de ação diafragmática.
Portanto, sem qualquer furo.**

Todos os tipos de painéis, quer os de ação diafragmática, quer os perfurados, são dispostos aleatoriamente por todas as superfícies absorvedoras de todas as paredes tratadas.

Esta técnica, combinada com o emprego de vários tipos diferentes de painéis, possibilita aumentar muito a banda de frequências de absorção, uma vez que cada tipo de painel trabalha com sua própria frequência de ressonância, e seu próprio Q.

É como se tivéssemos um único painel com elevada capacidade de absorção, atuando numa banda de frequências consideravelmente extensa. No caso, cerca de 2 décadas. De aproximadamente 30 Hz a mais de 3.000 Hz. A parte inferior dessa banda é trabalhada exclusivamente pelos absorvedores de painéis perfurados. O ideal é que pudéssemos avaliar como varia a absorção acústica dos absorvedores de painéis perfurados para um só parâmetro sendo alterado por vez. Então, é exatamente isso o que vou fazer.

Nossos parâmetros de partida são os seguintes:

- espessura do painel = 1 mm (digamos que seja uma chapa metálica)
- distância entre furos = 30 mm
- diâmetro dos furos = 1 mm
- profundidade total da cavidade entre o painel e a superfície que o suporta = 100 mm
- espessura do material fonoabsorvedor = 50 mm
- resistividade específica ao fluxo = 10000 rayls/m

Em nossos experimentos, a seguir, o material fonoabsorvedor ficou sempre encostado no painel perfurado, de modo a maximizar a absorção acústica, o que vimos anteriormente.

Todos os parâmetros do balão amarelo acima foram mantidos na figura 3.69, exceto pela espessura do painel que variou.

No quadrante superior esquerdo, a espessura é 0,5 mm. No quadrante superior direito, a espessura é 1,0 mm. No quadrante inferior esquerdo a espessura é 3,0 mm e, finalmente, no quadrante inferior direito a espessura é 6,0 mm.

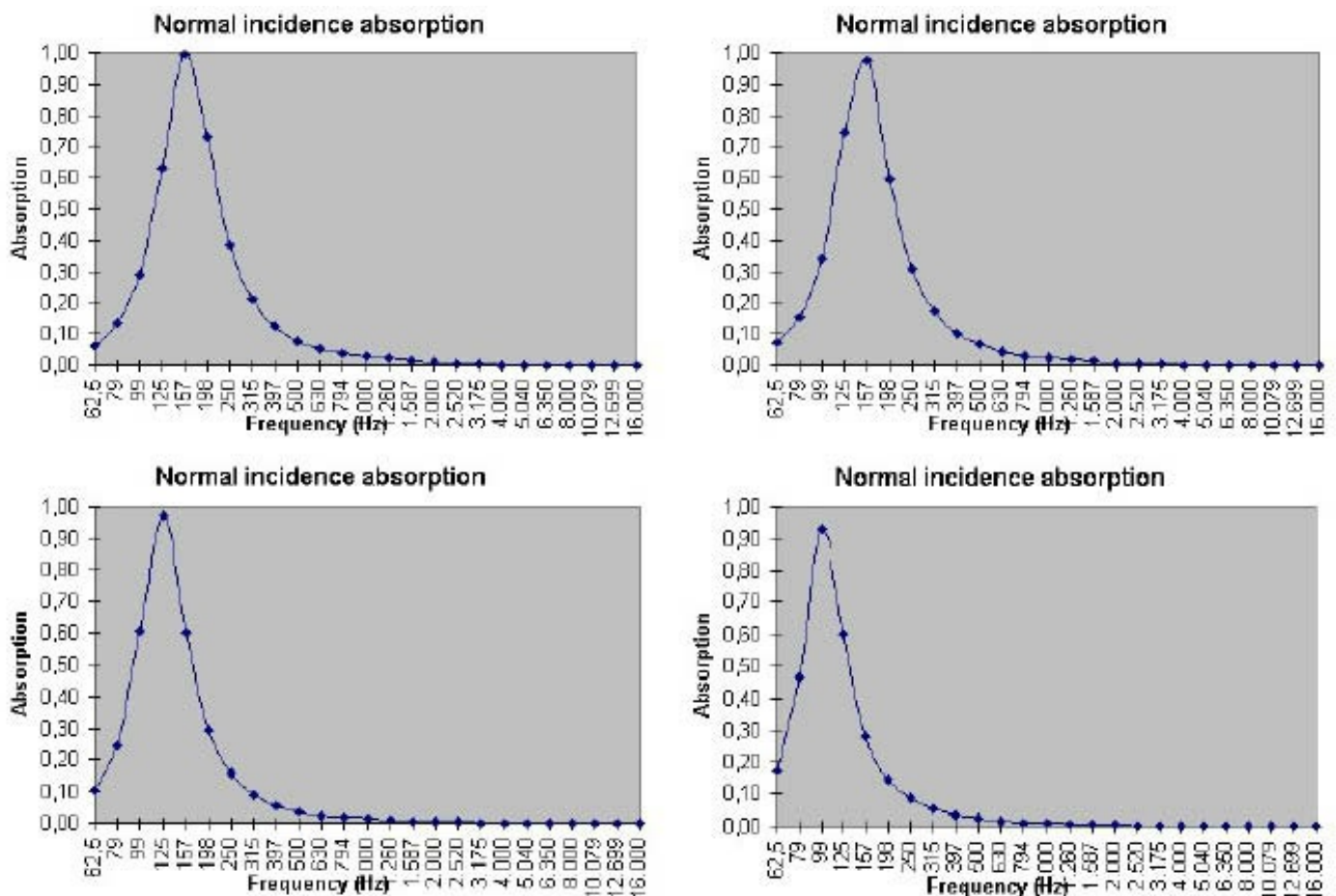


figura 3.69 variações da absorção para diferentes espessuras do painel acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

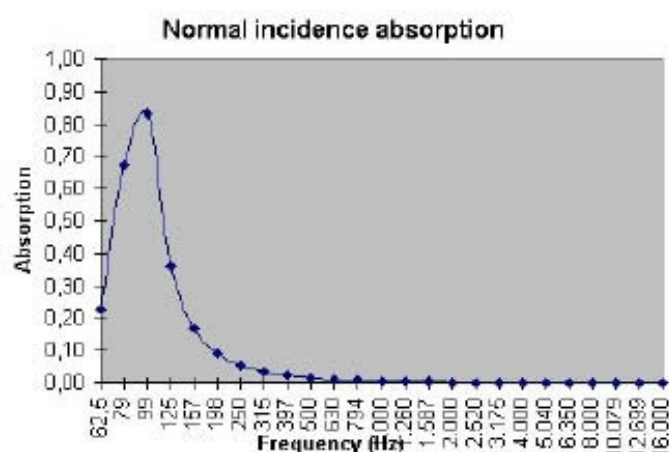
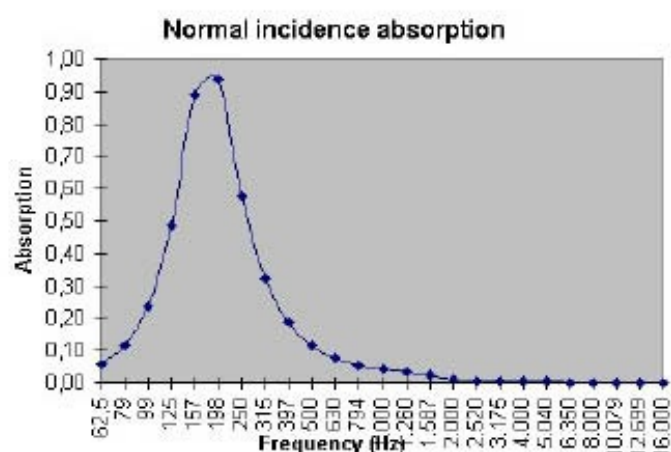
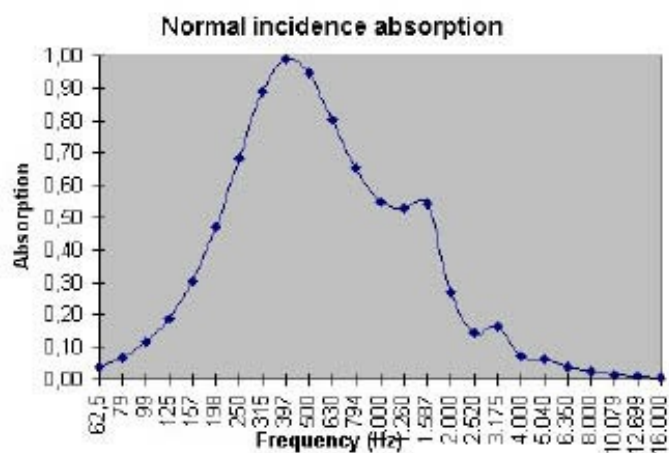
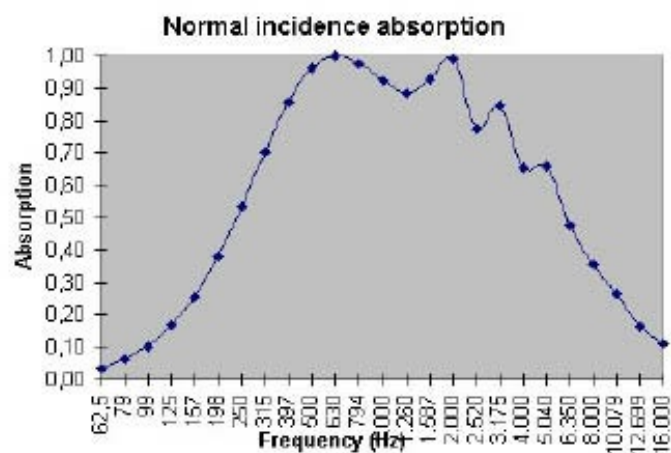


figura 3.70 variações da absorção para diferentes distâncias entre furos do painel acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

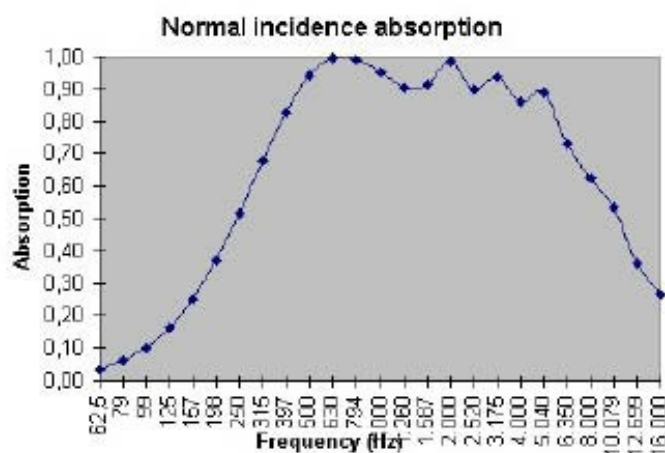
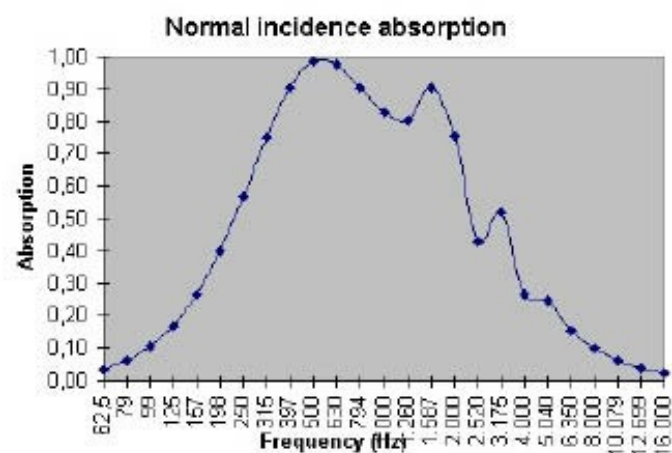
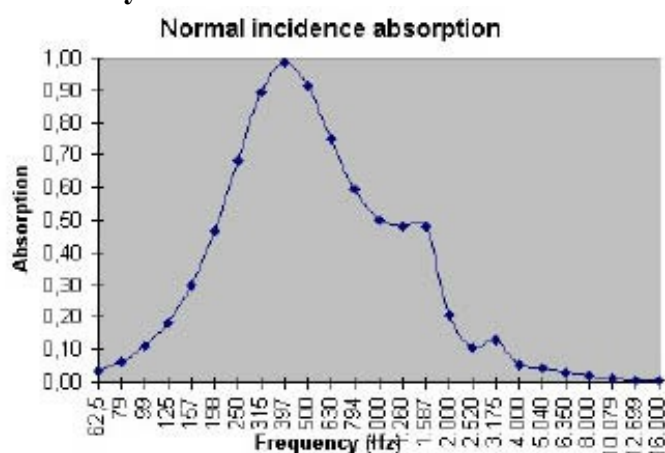
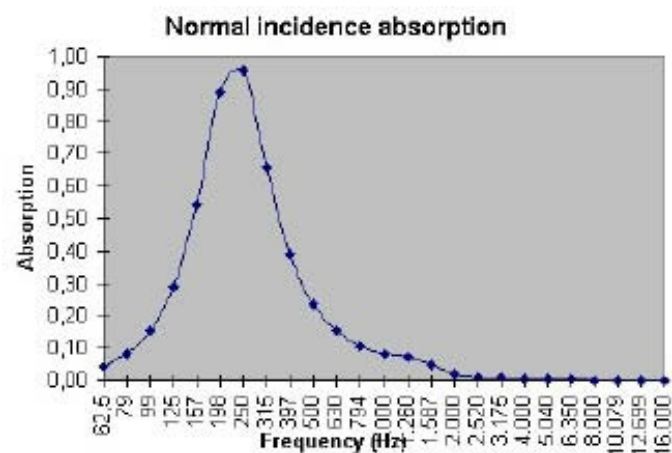


figura 3.71 variações da absorção para diferentes diâmetros dos furos do painel acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As espessuras dos painéis na figura 3.70 são exatamente como os da figura 3.69.

Agora, o parâmetro variável é a distância entre os furos. No quadrante superior esquerdo, essa distância é 5 mm. No quadrante superior direito a distância é 10 mm. No quadrante inferior esquerdo a distância é 25 mm e, finalmente, no quadrante inferior direito a distância é 50 mm.

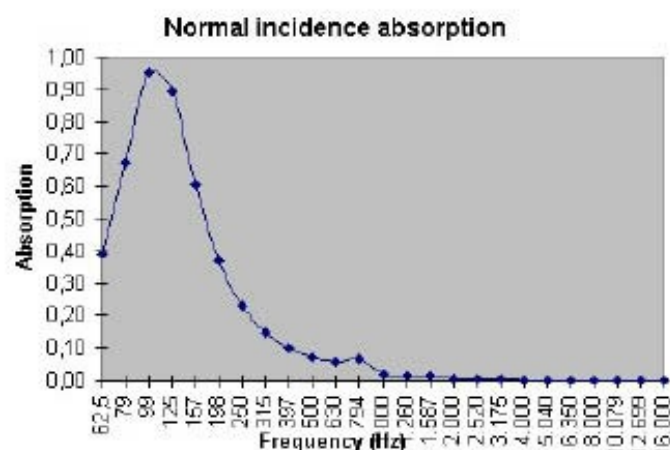
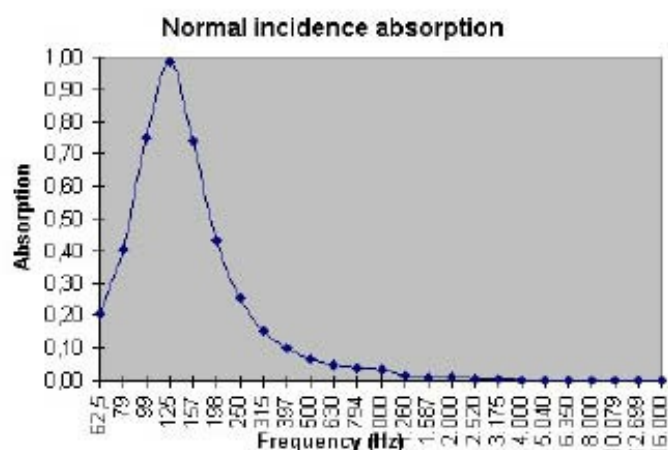
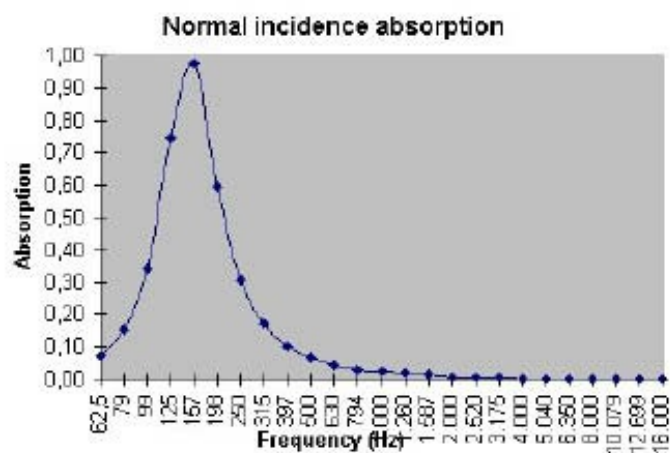
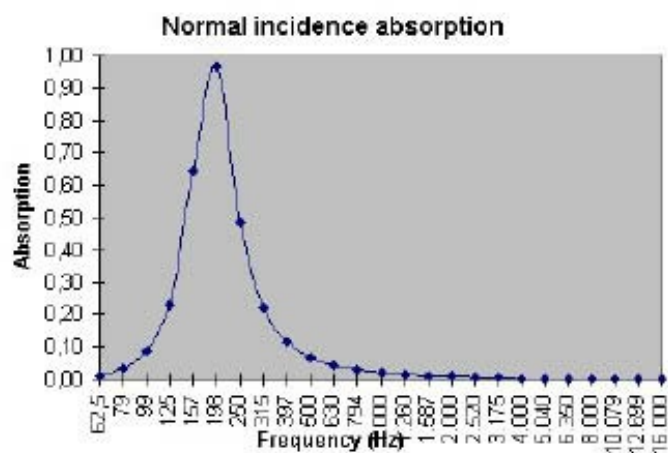


Figura 3.72 variações da profundidade da cavidade do painel acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 3.71 o parâmetro variável é o diâmetro dos furos. No quadrante superior esquerdo o diâmetro é 2 mm. No quadrante superior direito ele é 5 mm. No quadrante inferior esquerdo ele é 8 mm e, finalmente, no quadrante inferior direito o diâmetro é 12 mm.

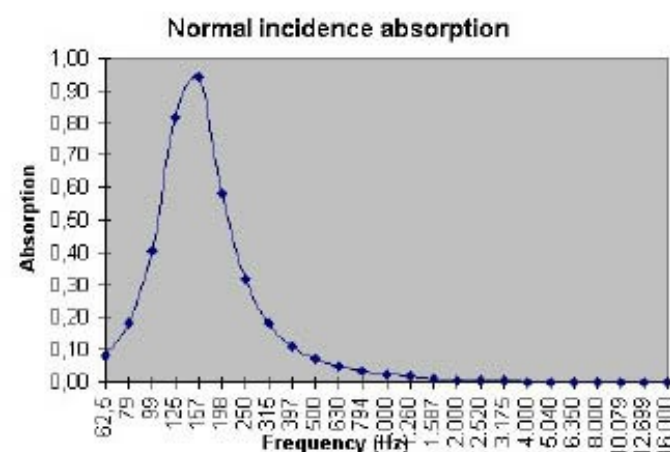
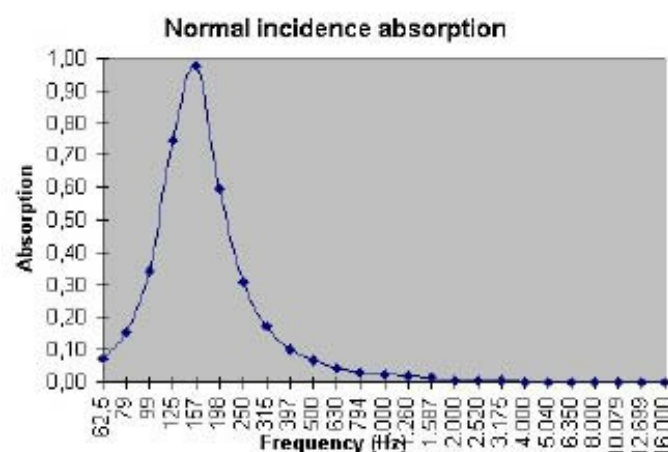
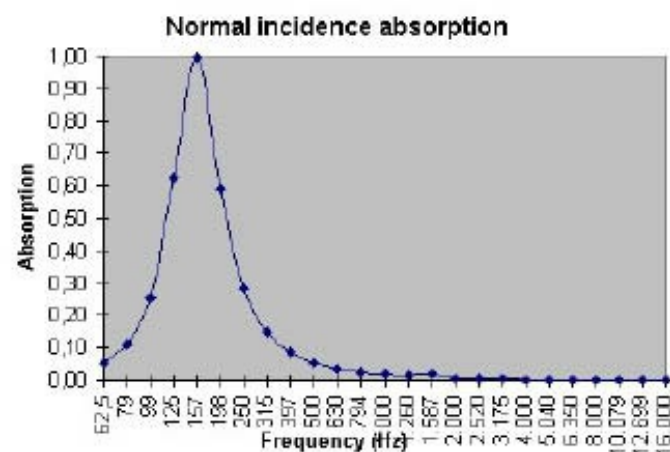
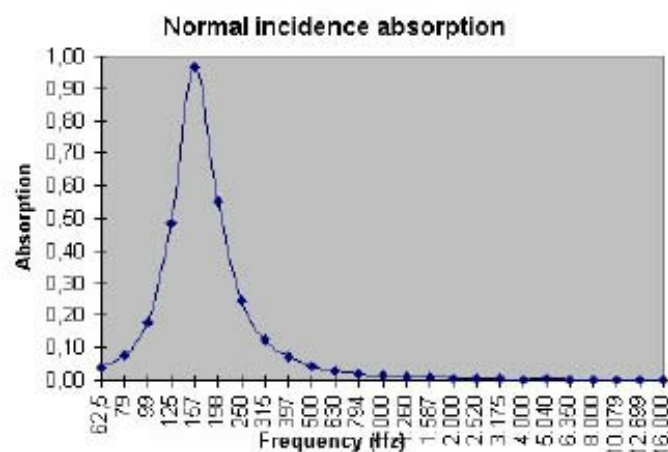


figura 3.73 variações da espessura do material fonoabsorvor do painel acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 3.72 o parâmetro variável é a profundidade da cavidade. No quadrante superior

esquerdo ela é 60 mm. No quadrante superior direito é 100 mm. No quadrante inferior esquerdo ela é 150 mm e, finalmente, no quadrante inferior direito a profundidade da cavidade é 200 mm.

Já na figura 3.73 o parâmetro variável é a espessura do material fonoabsorvedor colocado junto ao painel. No quadrante superior esquerdo essa espessura é 10 mm. No quadrante superior direito ela é 25 mm. No quadrante inferior esquerdo ela é 50 mm e, finalmente, no quadrante inferior direito essa espessura é 75 mm.

Na figura 3.74 o último parâmetro variável é a resistência específica ao fluxo (R_1) do material fonoabsorvedor colocado junto ao painel. No quadrante superior esquerdo $R_1 = 2000$. No quadrante superior direito $R_1 = 8000$. No quadrante inferior esquerdo $R_1 = 15000$ e, finalmente, no quadrante inferior direito $R_1 = 25000$.

Caro leitor. Estude com muita calma e bastante atenção todas essas últimas figuras que relacionam respostas do comportamento absorvedor dos absorvedores de painéis perfurados para variações dos parâmetros que lhes são próprios.

Atente para cada detalhe e procure relacionar coisas. Projetar possíveis absorções para outras alterações de parâmetros, baseando-se nas tendências apresentadas nas figuras. Procure extrapolar informações e derivar tendências.

Esses exercícios certamente lhe darão uma visão consideravelmente profunda de como podemos manipular parâmetros para obter resultados pré estabelecidos.

Um dos cientistas que mais pesquisou os absorvedores de painéis perfurados foi V. S. Mankvsky. Em um de seus mais notáveis trabalhos, de título *Acoustics of Studios and Auditoria*, publicado pela Hastings House de Nova Iorque, o autor nos brinda com uma série de curvas de coeficientes de absorção. Destas, escolhi algumas que mostro na figura 3.75.

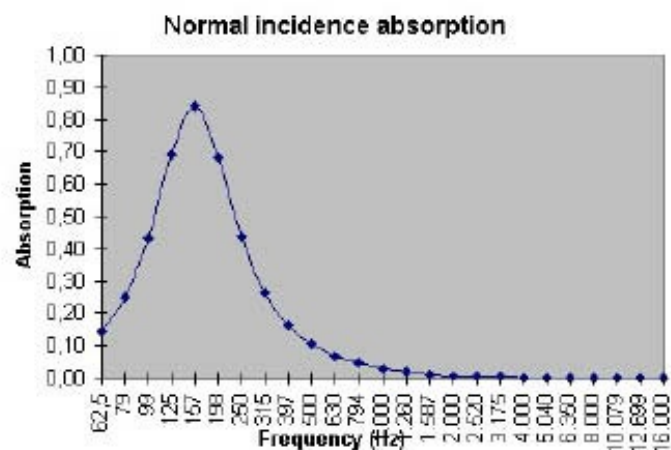
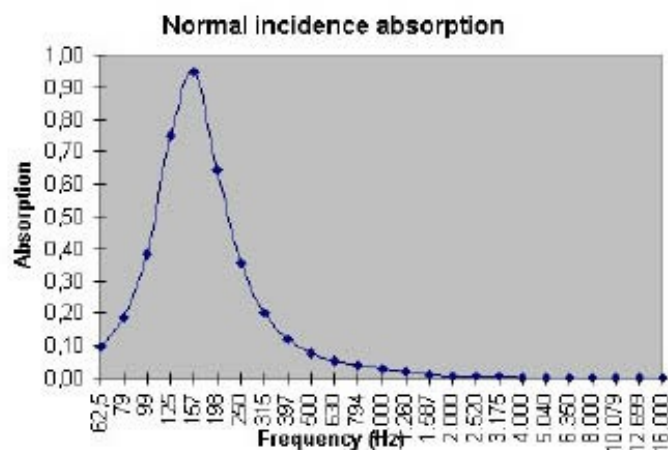
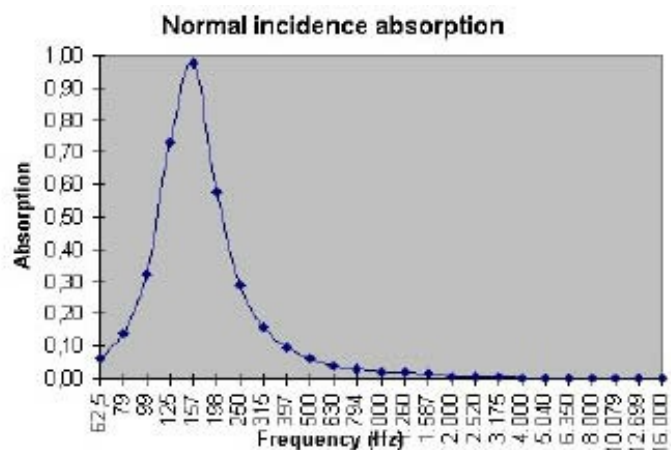
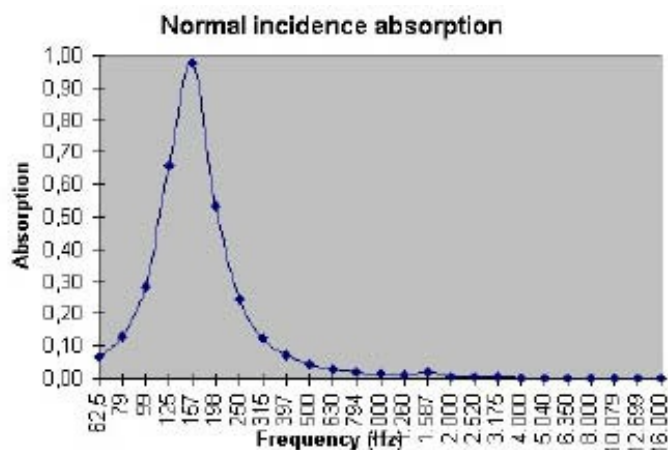


figura 3.74 variações da resistência específica ao fluxo do material fonoabsorutor do painel acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os três painéis perfurados são de madeira compensada e têm as seguintes características: espessura do painel 4 mm, diâmetro dos furos 5 mm, distância entre o painel e a superfície rígida atrás dele 200 mm. Portanto, as diferenças são apenas de percentual de perfuração.

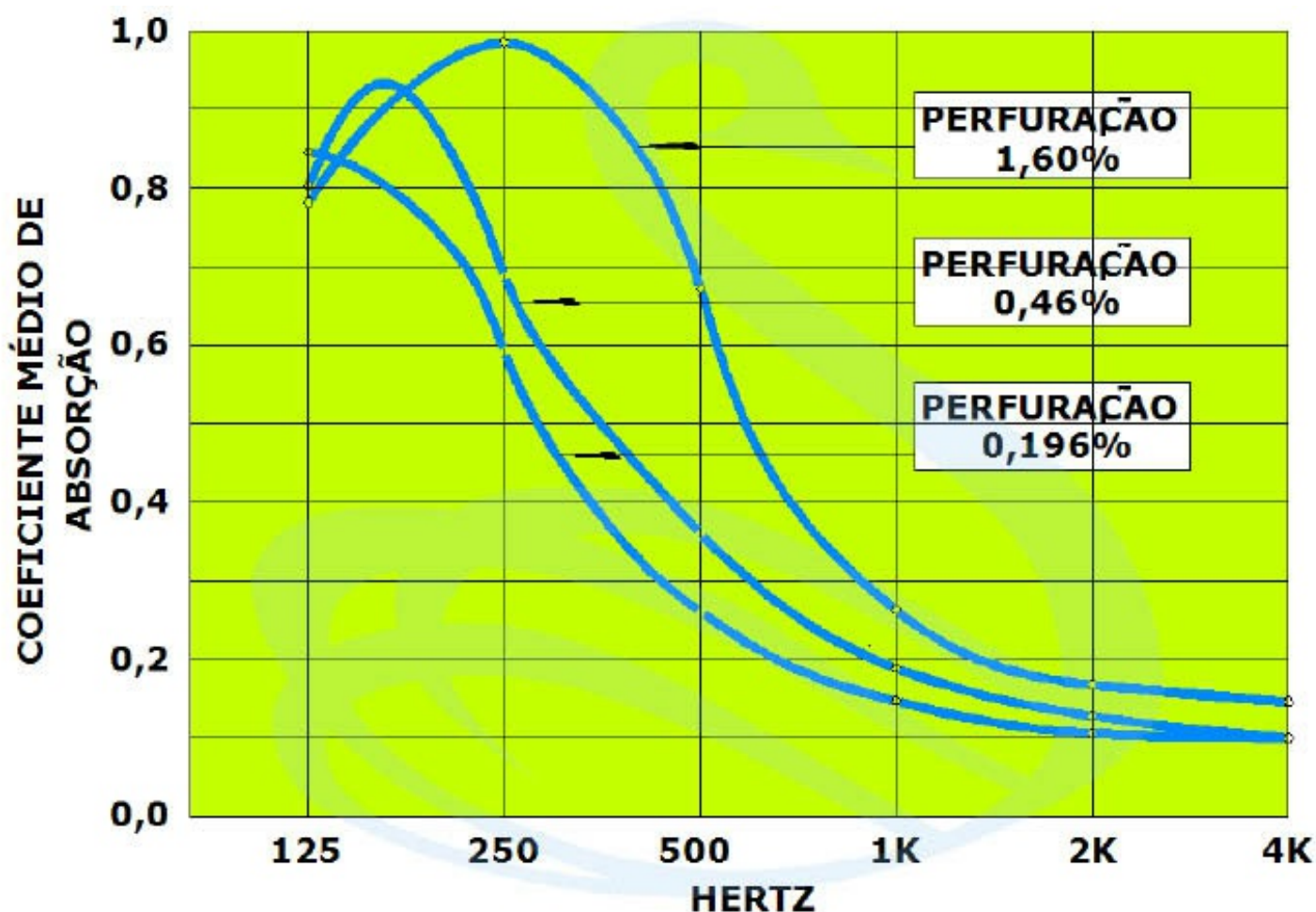


figura 3.75 coeficientes de absorção de painéis perfurados curva A- espaço entre furos 100 mm,

perfuração 0,196 %, FR calculada 59 Hz curva B - espaço entre furos 65 mm, perfuração 0,46 %, FR calculada 91 Hz curva C - espaço entre furos 35 mm, perfuração 1,60 %, FR calculada 169 Hz acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Finalmente, vejamos com um pouco mais de detalhes a questão da introdução dos materiais fonoabsorvedores na cavidade que fica entre o painel e a superfície rígida que suporta o dispositivo.

Esse preenchimento tem o efeito de reduzir a absorção, e deslocar pouca coisa a ressonância para uma frequência inferior à calculada. Sabendo disso, podemos variar a quantidade de material fonoabsorvedor utilizado para obter o resultado mais próximo de nossas necessidades. O que é uma ferramenta muito empregada na prática.

3.14.4.3 Absorvedores Slats

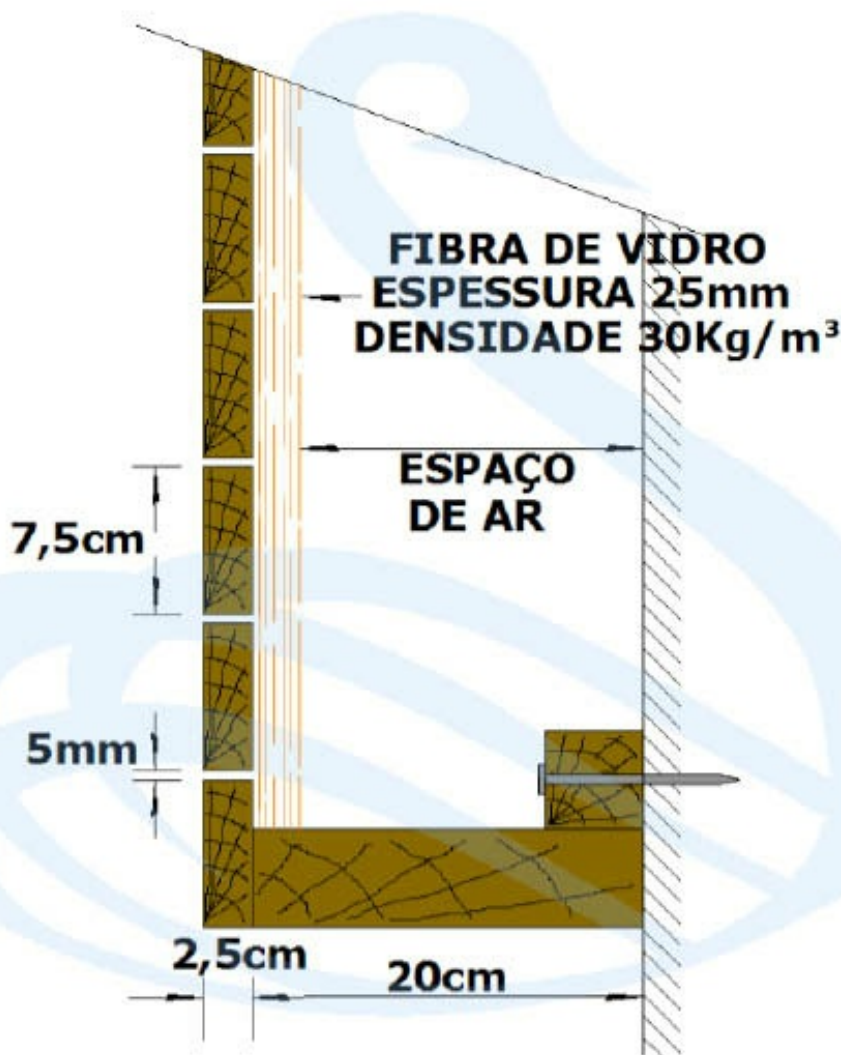


figura 3.76 slats com as tábuas montadas verticalmente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os absorvedores slats, ou simplesmente slats, são outra variação dos ressonadores de Helmholtz.

Eles são construídos com tábuas de madeira de uma certa espessura, dispostas vertical ou horizontalmente de modo que entre uma tábua e a seguinte seja mantida uma distância constante.

As tábuas também ficam afastadas da superfície rígida de uma distância fixa.

A figura 3.76 ilustra a ideia.

Esse tipo de absorvedor é realmente muito eficiente nas médias frequências. Mas sua utilidade em baixas frequências não deve ser desprezada.

A frequência de ressonância dos slats pode ser calculada com o auxílio da expressão:

$$F_R = 549 \sqrt{\frac{p^{\circ}}{d.e}} \quad (3.17)$$

onde

- F_R é a frequência de ressonância em Hertz
 - $p\%$ é o percentual de perfuração do painel
 - d é a distância entre o painel e a superfície rígida, em centímetros, e
 - e é a espessura das tábuas, em centímetros
- Observe que tanto no caso dos slats quanto no dos absorsores de painéis perfurados é possível projetar os dispositivos absorsores para quaisquer frequências desejadas, bastando que se escolha a combinação mais adequada de percentual de perfuração, com espaçamento entre o material ou tábuas e superfície rígida, e ainda, com a espessura do material.

Os slats são sempre utilizados com materiais fonoabsorsores entre as tábuas e as superfícies rígidas.

Aliás, o que lhes confere alterações semelhantes àquelas já discutidas anteriormente para os absorsores de painéis perfurados.

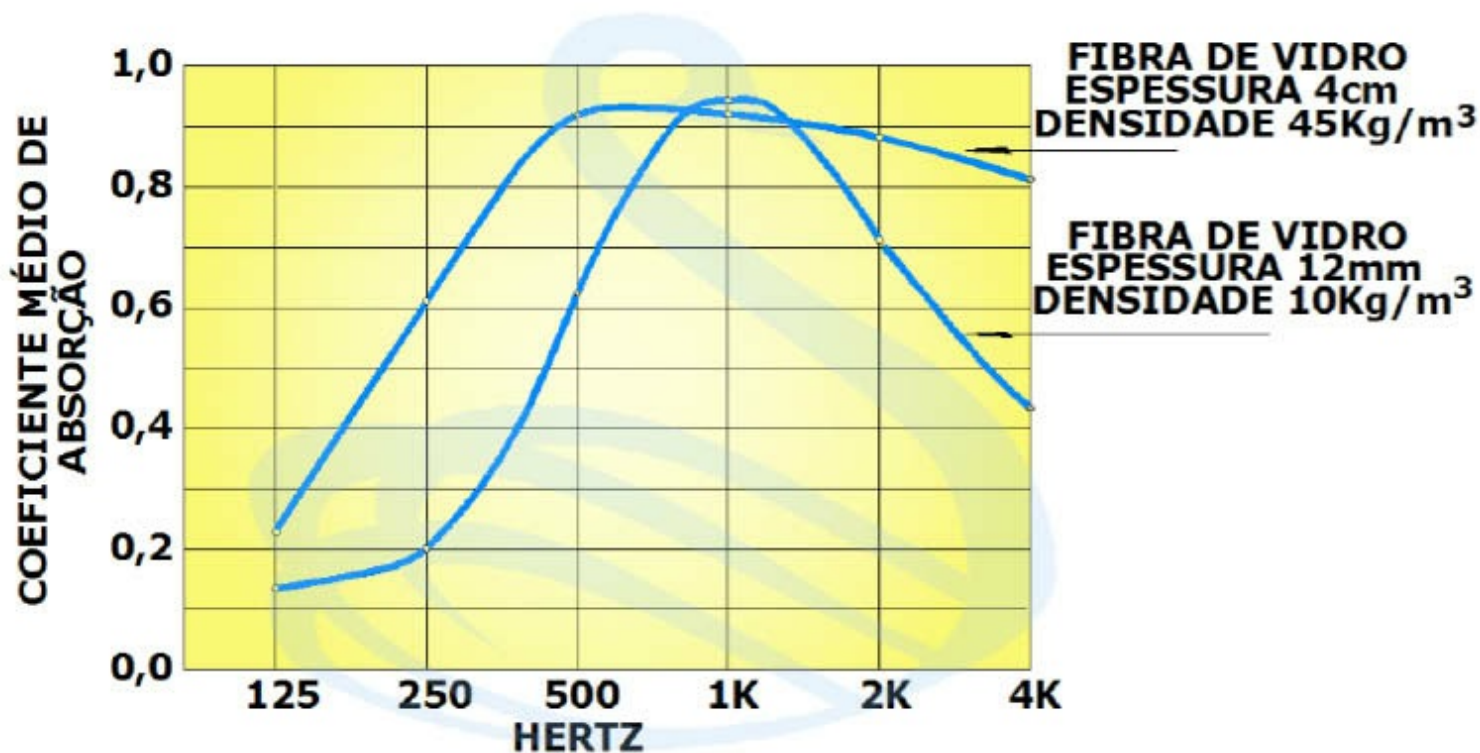
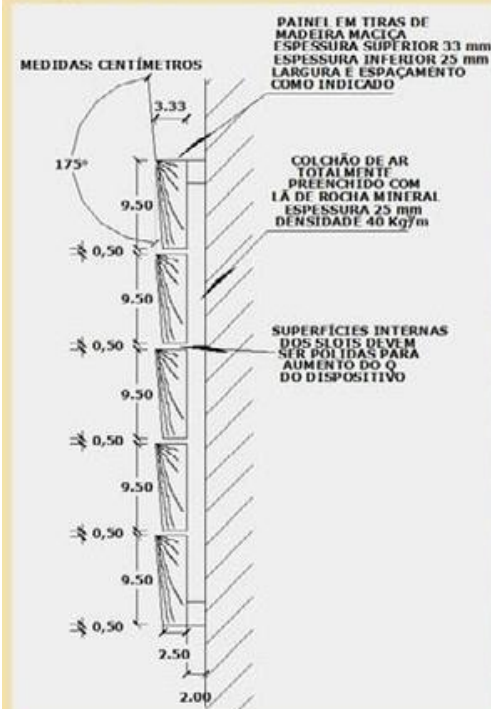


figura 3.77 coeficientes de absorção acústica do slat da figura 3.76

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 3.77 mostra os coeficientes de absorção de um slat com variações apenas no material fonoabsorutor empregado. Por favor, atente para o que ocorre com os coeficientes de absorção desses dispositivos em função dos parâmetros espessura e densidade dos materiais fonoabsorsores utilizados. Conhecer esse detalhe permitirá ajustar os coeficientes de acordo com a necessidade específica de cada caso.

Mesmo que não seja possível fazer medições práticas, é sempre legítimo usar conhecimentos para aproximar experimentalmente nosso caminho do que sabemos é o correto.

projeto dos slats laterais



os resultados práticos



figura 3.78 projeto e fotos da execução de painéis slat na Igreja Batista Nacional de Várzea Grande , Mato Grosso, de projeto do autor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No lado esquerdo da figura 3.78 é apresentado um dos desenhos do projeto de absorsor slat desenvolvido para a Igreja Batista Nacional do Cristo Rei, Várzea Grande, Mato Grosso. As duas fotos do lado direito mostram claramente como ficaram os painéis após sua execução.

Há publicações específicas especializadas exclusivamente em coeficientes de absorção de inúmeros materiais de uso geral, e proprietários. Inclusive de painéis perfurados e de slats. Recomendo sua leitura para todos aqueles que tiverem interesse nessas informações.

Outros dados podem ser obtidos com a Sociedade Brasileira de Acústica - SOBRAC, ou em suas excelentes publicações, ou ainda, junto aos membros da associação, sempre dispostos a colaborar com outros colegas de áreas afim.

Mas também há programas que calculam e mostram as curvas dos coeficientes de absorção para qualquer conjunto de parâmetros que queiramos fixar. Exemplo desse programa é o que usei para compor as figuras 3.45 a 3.47 e 3.69 a 3.74.

3.15 ONDAS OU RAIOS?



figura 3.79 espectro de frequência dividido nas regiões A, B, C e D

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vimos que a lei fundamental da acústica preconiza que o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência. Mas volta e meia todos nós ouvimos alguém dizer coisas como “a onda, ou a frente de onda se propaga”.

Quando calculamos a intensidade do som anteriormente, admitimos que o som se propagasse em todas as direções. Portanto, em forma de ondas esféricas.

E agora precisamos saber. Afinal de contas, o som se propaga em forma de ondas ou de raios?

A compreensão da profundidade desta pergunta é uma das chaves mestras para o entendimento de inúmeros conceitos avançados da acústica.

Atenção para a figura 3.79. Ela nos mostra o espectro de frequências até 20 kHz, dividido em quatro segmentos.

O conceito dos raios é válido e aplicável ao segmento D, onde estão as frequências mais altas.

Nele, os sons efetivamente se propagam muito mais como raios do que como ondas. Nesse caso, as reflexões ocorrem bem ao estilo das bolas de bilhar batendo nas tabelas da mesa, e a lei fundamental da reflexão prevalece.

Alguns já me perguntaram qual é a frequência limite F_3 . Bem, isso depende do tamanho do ambiente do qual estamos falando. Mas o conceito se aplica ao segmento que se caracteriza por incluir frequências cujos comprimentos de onda são muito pequenos em comparação com as dimensões do local.

Na região B do espectro, na qual os comprimentos de onda das frequências são da mesma ordem de grandeza que as dimensões do local, o conceito de raios não tem qualquer sentido. E os estudos nesse segmento devem ser conduzidos pelo critério das ondas.

Para que possamos ter uma ideia da região B do espectro, tomemos uma pequena sala com as dimensões 4,0 metros x 6,0 metros. E também uma sala maior, de 15,0 metros x 25,0 metros.

Se calcularmos as frequências cujos comprimentos de onda são 4,0, 6,0, 15,0 e 25,0 metros, chegaremos a 86 Hz, 57 Hz, 23 Hz e 14 Hz, respectivamente.

A região C é um meio termo entre o que ocorre nos segmentos B e D. Nela, os comprimentos de onda dos sons são longos demais para a aplicação do conceito dos raios, e curtos demais para a aplicação do conceito das ondas.

E é nesta região intermediária que predominam a difusão e a difração dos sons.

E chegamos à região A, que é uma espécie de “região acústica fantasma”.

Embora estejamos falando de ambientes fechados, não temos nessa região o mesmo comportamento de ambientes fechados que caracteriza as regiões B, C e D. Tampouco temos o comportamento de um ambiente aberto, uma vez que podemos contar com reflexões em todas as superfícies internas.

Quando os comprimentos de ondas ainda são da mesma ordem de grandeza que as dimensões do ambiente, isto é, quando estamos na parte superior da região A, as frequências

modais ainda reforçam os sons, como vimos anteriormente.

Podemos dizer que a frequência F_1 é caracterizada pela frequência modal determinada pela maior dimensão do ambiente. Embora tenhamos ressonâncias na parte inferior da região A, elas são incapazes de promover reforços acústicos dos sons.

Podemos resumir todo esse quadro do seguinte modo. Na região de frequências muito baixas, a resposta acústica do ambiente é correspondentemente baixa. Na região B as frequências modais predominam e a resposta do ambiente é reforçada pelas ressonâncias. Na região C, que é um segmento de transição, predominam a difusão e a difração.

E nas frequências da região D, a resposta do ambiente é caracterizado pelos resultados das absorções, difusões e difrações acústicas das correspondentes frequências, prevalecendo o conceito dos raios.

Vimos anteriormente que a figura 3.12 é empregada de forma clássica no estudo da acústica. Mas pelo que acabamos de discutir, não obstante tenhamos que admitir a clareza e os recursos ilustrativos dessa figura, que realmente são indiscutíveis, vemos que as informações nela apresentadas não são rigorosamente corretas.

Também sabemos que a maioria dos trabalhos de acústica estão totalmente baseados em conceitos estatísticos e geométricos. O principal desses conceitos é o de que o som se propaga apenas na forma de raios.

Como isso é muito mais verdadeiro para grandes ambientes do que para os pequenos, é bom estarmos alertas para o fato de que nestes ambientes menores podem haver erros grosseiros entre os cálculos baseados na teoria dos raios e nas medições objetivas feitas com finalidades comparativas.

3.16 ONDAS E MODOS

3.16.1 Ondas Estacionárias

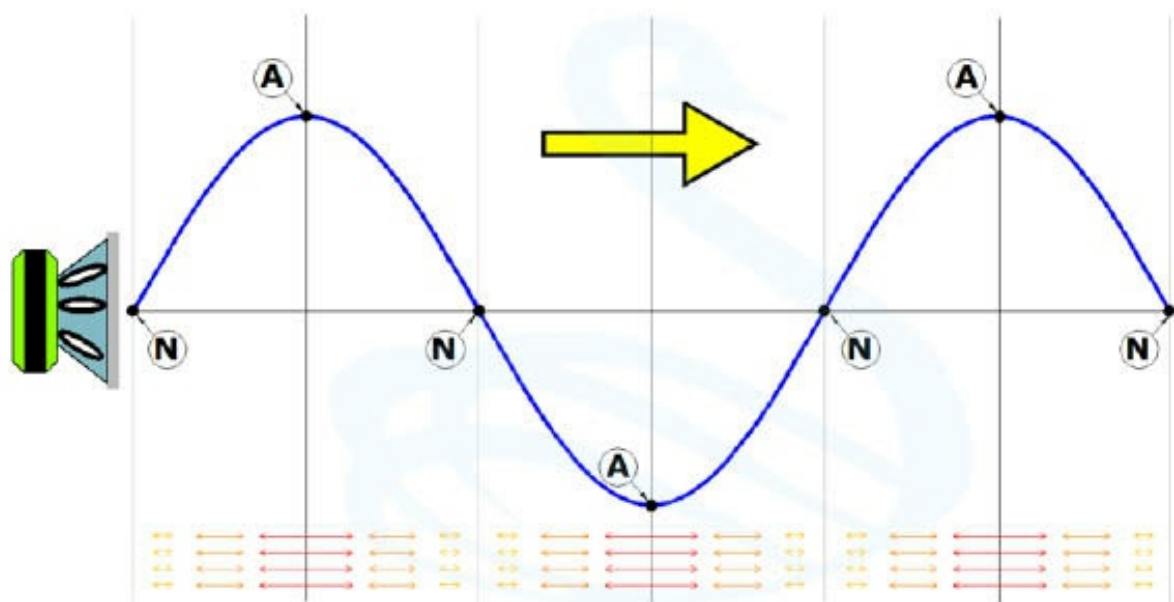


figura 3.80 propagação de tom puro e detalhes associados acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

Creio que preparar alguém que queira iniciar seus estudos sobre os fundamentos das ondas estacionárias iniciando com o exame cuidadoso de algumas poucas questões conceituais relacionadas com as ressonâncias acústicas é, de fato, um bom começo.

Pois bem. Sabemos que podemos representar a propagação de um tom puro no ar usando uma onda sinusoidal contínua. Por convenção, as partes dessa onda que ficam acima do eixo mediano horizontal indicam compressão. Inversamente, as partes que ficam abaixo desse eixo representam rarefações.

A figura 3.80 mostra a propagação de um tom puro proveniente do alto-falante esquematizado do lado esquerdo desenho. O som se propaga da esquerda para a direita, na direção indicada pela grande seta da parte superior da figura.

Sabemos que a propagação do som no ar é, em essência, o deslocamento físico das partículas em forma de onda. Como sabemos que a amplitude desses deslocamentos físicos é realmente algo de muito ínfimo. No caso da onda sinusoidal da figura 3.80, a direção do deslocamento das partículas coincide com a direção da propagação.

As setas menores na parte inferior da figura representam as amplitudes de deslocamento das partículas em cada momento ao longo do trajeto da propagação.

Observe que há pontos onde a onda sinusoidal “cruza” o eixo mediano horizontal. Por esses pontos passam verticais de cor cinza, para simbolizar a ausência de deslocamento das partículas de ar. E não há deslocamento de partículas de ar porque, como mostra a figura, naqueles pontos não há compressão nem rarefação.

A forma sinusoidal exhibe seus pontos de máxima e de mínima, por onde passam verticais de cor preta. Nesses pontos ocorre a compressão máxima (parte superior da onda) e a rarefação máxima (parte inferior da onda). Como mostra a figura, quer para a compressão máxima quer para a rarefação máxima, o deslocamento das partículas de ar também é máximo.

Pois bem, o termo **nó** é usado em acústica para indicar os pontos do espaço nos quais não

há deslocamento físico das partículas de ar. Da mesma forma, o termo **anti-nó** indica os pontos do espaço onde os deslocamentos das partículas de ar são máximos.

A figura 3.80 também mostra os nós e anti-nós, como acabamos de conceituar. Os nós estão representados pelos pequenos círculos envolvendo a letra “N” e os anti-nós são representados pelos pequenos círculos envolvendo a letra “A”.

3.14.3.1 Cordas e Tubos

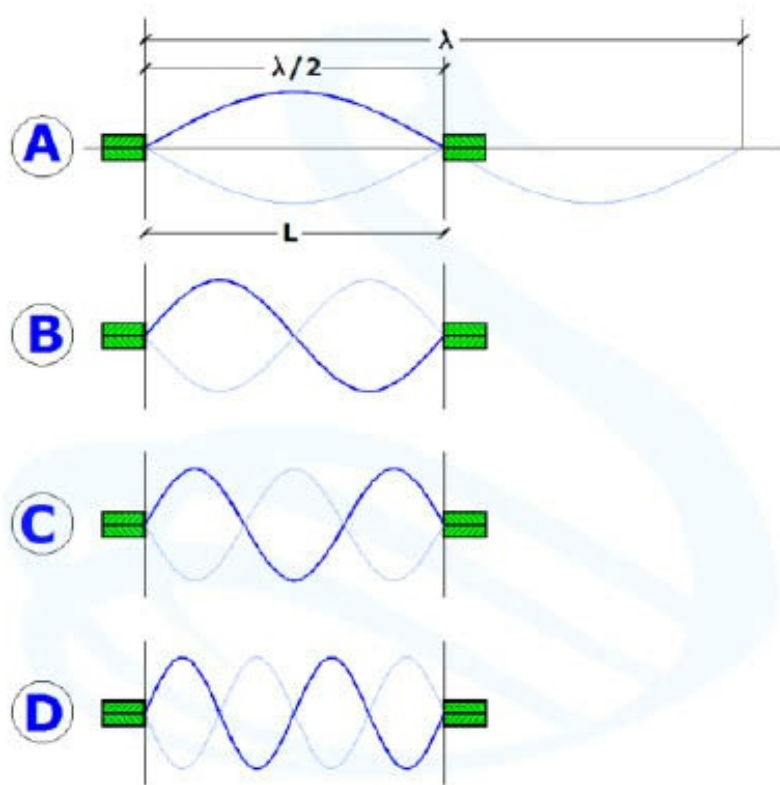


figura 3.81 a corda fixada em suas duas extremidades acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os desenhos da figura 3.81 representam uma corda fixada em suas duas extremidades. Imagine que essa seja uma corda de guitarra. Como qualquer outra corda, essa também é caracterizada por sua massa, por seu comprimento e pela tensão dada a ela (por exemplo, durante a afinação). Em conjunto, esses parâmetros determinam a frequência fundamental de ressonância da corda. Que pode ser ouvida quando se faz a corda vibrar. Olhando para a figura 3.81.A vemos que o comprimento de onda daquela frequência de ressonância é

$$\lambda = 2.L \quad (3.18)$$

onde

- λ o comprimento de onda da frequência de ressonância, em metros, e
 - L o comprimento da corda, também em metros
- Veja agora as figuras 3.81.B, 3.81.C e 3.81.D.

Elas mostram que nossa corda pode vibrar em outras frequências de ressonância. O comprimento de onda da frequência de ressonância da figura 3.81.B é $\lambda = L$. Assim como o comprimento de onda da frequência de ressonância da figura 3.81.C é $\lambda = 2/3L$ e o comprimento de onda da frequência de ressonância da figura 3.81.D é $\lambda = 1/2L$. Muito bem. Então podemos derivar a expressão genérica para cálculo do comprimento de onda das frequências de ressonância numa corda. Aí está

$$\lambda = \frac{2L}{n} \quad (3.19)$$

onde

- λ é o comprimento de onda da frequência de ressonância, em metros
- L é o comprimento da corda em metros, e
- n é um número inteiro chamado número harmônico = 1, 2, 3

Agora que temos isso, podemos igualar os comprimentos de onda das expressões 3.4 e 3.19 para obter

$$f = \frac{n \cdot v_s}{2L} \quad (3.20)$$

onde

• f é a frequência de ressonância, em Hertz • v_s é a velocidade do som, em metros/segundo • L é o comprimento da corda em metros, e • n é o número harmônico Se a corda da figura 3.81 tiver 0,5 metro de comprimento, e fizermos $n=1$, podemos calcular o comprimento de onda

$$\lambda = \frac{2 \cdot 0,5}{1} = 1,0 \text{ metro}$$

E a frequência de ressonância é

$$f = \frac{1.344}{2 \cdot 0,5} = 344 \text{ Hz}$$

Pois bem, 344 Hz é a frequência fundamental. É costume representar a fundamental como f_0 ou F_0 . A frequência fundamental também é chamada primeiro harmônico. É o que ilustra a figura 3.81A.

Quando fazemos $n=2$, o comprimento de onda resulta 0,5 metro e a frequência aumenta para 688 Hz. Este é o segundo harmônico, ou primeiro sobreton, usualmente indicado como f_1 ou F_1 , ou ainda como $2f_0$ ou $2F_0$. Veja a correspondente ilustração na figura 3.81B.

As ilustrações C e D da figura 3.81 valem para $n=3$ e $n=4$, respectivamente.

No mundo real, qualquer corda vibra na frequência fundamental e mais numa boa quantidade de harmônicos. O que distingue o timbre de cada corda específica são as relações relativas de amplitude verificadas entre a fundamental e as harmônicas.

A análise cuidadosa da figura 3.81 já deve oferecer uma primeira noção de onda estacionária. Sim, porque ao contrário da propagação da onda sonora no ar, que viaja na velocidade do som, na corda, a onda é tão estacionária quanto a própria corda.

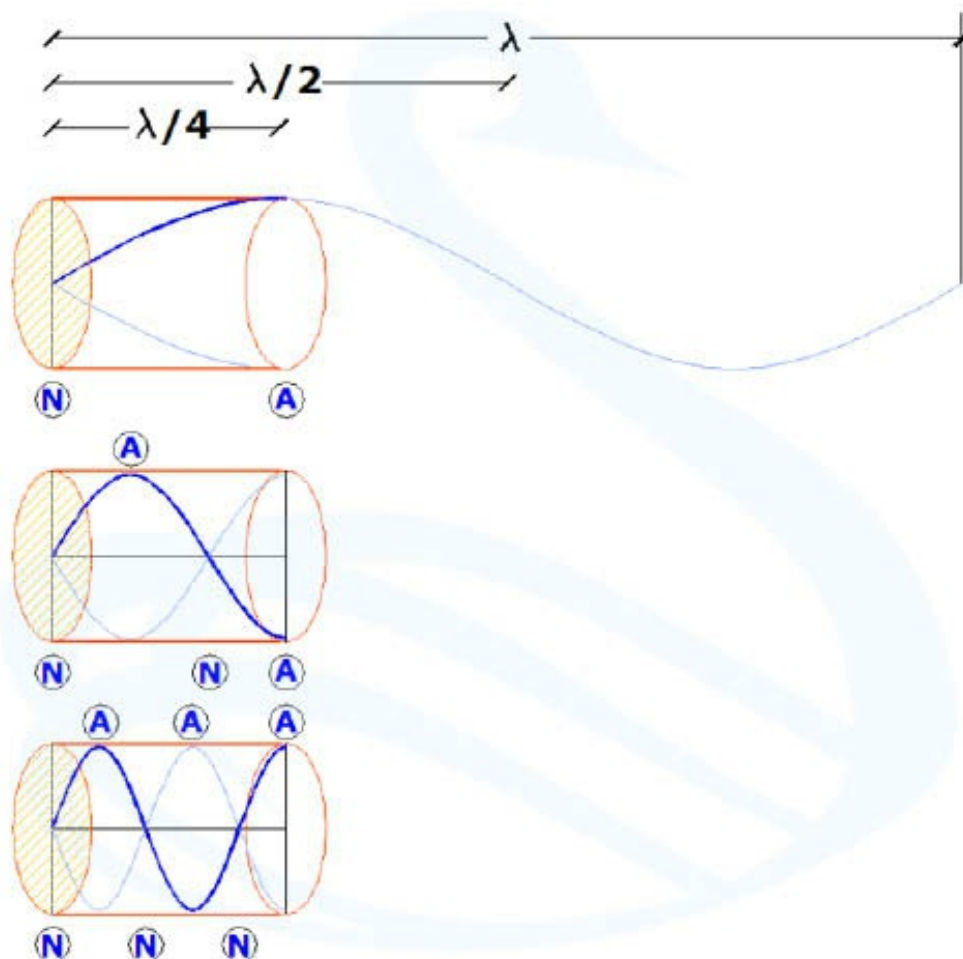


figura 3.82 tubo fechado numa extremidade só acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Todos os desenhos da figura 3.82 mostram um tubo fechado na extremidade esquerda e aberto na extremidade direita.

As propriedades dos tubos abertos numa só extremidade podem ser resumidas como segue:

- 1) as partículas de ar na extremidade fechada não podem se mover, porquanto o movimento das partículas de ar na extremidade aberta não está submetido a qualquer restrição
- 2) é possível que ocorra simultaneamente máximo deslocamento das partículas de ar na extremidade aberta do tubo e nenhum deslocamento das partículas na extremidade fechada
- 3) a pressão é máxima da extremidade fechada (as partículas de ar estão agrupadas) porquanto na extremidade aberta a pressão é mínima

Até mesmo para compreender melhor o mecanismo acústico que se desenvolve no interior dos tubos, vamos entender as causas da propriedade 1, acima citada.

O atrito é usualmente associado a corpos sólidos que fazem contato entre si.

Mas a observação científica mostra que algo semelhante se dá com fluidos, que são os gases e líquidos. O nome “fluido” vem da possibilidade deles poderem fluir com facilidade quando submetidos a uma força externa, em contraste com os sólidos que não podem mudar de forma física com a mesma facilidade. O mecanismo semelhante ao atrito dos sólidos que se verifica nos fluidos apresenta-se muito menos acentuado. E para distinguir as duas coisas, dá-se o nome de “viscosidade” a esse fenômeno quando ele ocorre nos fluidos.

Podemos definir viscosidade como sendo a medida da resistência interna, ou da fricção interna, que se constata nos gases e nos líquidos submetidos a uma força externa.

Como a viscosidade é expressa por um coeficiente, o coeficiente de viscosidade é intensidade do atrito interno de um gás, ou líquido. E o atrito interno resulta da coesão das partículas da substância em questão.

Quanto mais viscoso é o gás, ou líquido, mais dificuldade ele encontra para fluir quando submetido a uma força externa determinada.

Pois bem, então devemos considerar a viscosidade do ar que impõe resistência ao adensamento de partículas de ar resultante do movimento dessas partículas durante a propagação dos sons. Numa consideração dessa natureza cabe dizer que a resistência aumenta à medida que o ar está mais próximo da extremidade fechada do tubo. O mesmo ocorrendo quando ele está mais próximo das paredes internas do tubo.

Esse aumento de resistência pode ser facilmente justificado. Trata-se do aumento da fricção entre as partículas de ar e as paredes do tubo. O movimento das partículas de ar na extremidade fechada do tubo encontra resistência quer pelo aumento da viscosidade do ar, quer pelas colisões das partículas de ar com o final do tubo.

Em razão disso podemos propor a analogia entre a extremidade fechada do tubo e a extremidade fixa da corda. Portanto, a reflexão da onda na extremidade fechada do tubo acontece sem inversão de fase, como ilustram as partes esquerdas dos três desenhos da figura 3.82. Eis porque o resultado na extremidade fechada do tubo é o nó.

OK! E o anti-nó na extremidade aberta?

Certo, essa é outra questão. E a chave para entendê-la é compreender que as ondas não são refletidas só pela extremidade fechada do tubo, mas também pela extremidade aberta. Isso mesmo. A extremidade aberta do tubo também reflete as ondas.

Essas reflexões devem-se a um fenômeno denominado radiação de impedância. Trata-se de algo que se faz presente sempre que a abertura de um recipiente encontra um espaço fisicamente muito maior do que a área dessa abertura. Quem quiser mais detalhes sobre este tópico específico poderá encontra-lo na literatura sobre teoria das antenas e problemas de transmissão de campos eletromagnéticos. Como o movimento das partículas de ar não sofre mais restrições como acontecia na extremidade fechada do tubo, as reflexões, agora, ocorrem sem inversão. Como ilustram os lados direitos dos três desenhos da figura 3.82. E é exatamente por isso que o anti-nó é criado na extremidade aberta do tubo. Podemos dizer que a condição para que haja ressonância num tubo aberto numa só extremidade é que as partículas de ar vibrem com intensidade máxima na extremidade aberta e não vibrem na extremidade fechada.

Logo, um tubo com uma só extremidade aberta transmite frequências cujo comprimento de onda tenham velocidade máxima em sua extremidade aberta. As frequências que preenchem esse requisito são transmitidas com eficiência, e portanto, são acusticamente amplificadas. As

demais não são transmitidas com eficiência e, portanto, acabam sendo acusticamente atenuadas.

Como sugere o desenho superior da figura 3.82, o tubo ressonará com máxima amplitude quando o comprimento de onda do som for 4 vezes maior que o comprimento físico do tubo. Porque desse modo a velocidade do som é máxima na extremidade aberta do tubo.

Observe os desenhos central e inferior da figura e será fácil ver que a velocidade também será máxima para comprimentos de onda de $3/4$, $5/4$, *etc.* vezes o comprimento físico do tubo. Esses comprimentos de onda menores correspondem às frequências harmônicas.

Então podemos derivar a expressão genérica para cálculo da frequência de ressonância fundamental e das harmônicas num tubo fechado numa só extremidade.

$$f = \frac{(2n-1) v_s}{4L} \quad (3.21)$$

nesta expressão

- f é a frequência de ressonância, em Hertz
 - v_s é a velocidade do som, em metros/segundo
 - L é o comprimento da corda em metros, e
 - n é o número harmônico
- Vejamos um exemplo prático disso. Nossos ouvidos externos são um caso clássico de tubo aberto numa só extremidade. Sim, você acertou! É mesmo a extremidade da orelha. A outra extremidade é fechada pelo tímpano. Mais um dado. O comprimento do meato auditivo é aproximadamente 2,8 centímetros para a média dos seres humanos.

Vamos calcular então a frequência de ressonância fundamental?

$$f = \frac{(2n-1) v_s}{4.L} = \frac{344}{4 \times 0,028} = \frac{344}{0,112} = 3071 \text{ Hz}$$

Memorize essa frequência por cinco minutinhos. Enquanto isso, veja o gráfico da figura E.12 do Apêndice E. Observe cuidadosamente a região do espectro onde nossos ouvidos são mais sensíveis.

Evidentemente, quaisquer semelhanças não serão meras coincidências. Certo?

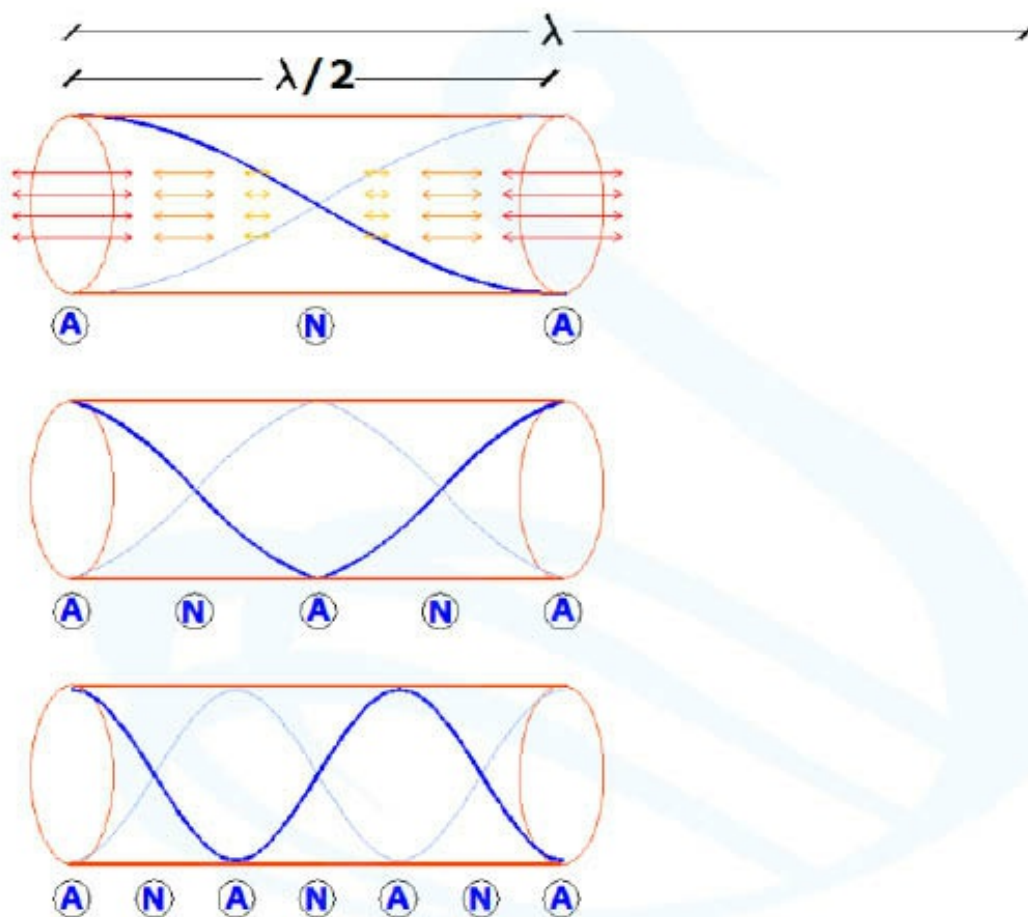


figura 3.83 tubo aberto em suas duas extremidades acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Neste momento estamos abandonando os tubos com uma extremidade fechada e partindo para os tubos abertos nas duas extremidades.

Como uma flauta, por exemplo.

Portanto, os desenhos da figura 3.83 se referem a tubos abertos nas duas extremidades.

Quando excitamos a coluna de ar no interior de um tubo assim, a frequência de ressonância ocorre exatamente quando se verifica o que mostra o desenho superior da figura. Isto é, quando se formam dois anti-nós, um em cada extremidade do tubo e um nó bem no centro do tubo.

Além de mostrar o tubo, os anti-nós e os nós, aquele desenho também exibe as representações das amplitudes vibracionais da onda em analogia às amplitudes de vibração de uma corda.

Finalmente, o desenho também mostra a representação das amplitudes dos deslocamentos das partículas de ar e os locais exatos dos anti-nós e do nó. Isto, para a frequência de ressonância fundamental.

Nos desenhos central e inferior da figura estão representadas as condições para a segunda harmônica e a terceira harmônica, respectivamente.

A expressão que permite calcular a fundamental e as harmônicas num tubo aberto nas duas extremidades é

$$f = \frac{n.v_s}{2L} \quad (3.22)$$

onde

- f é a frequência de ressonância, em Hertz
 - v_s é a velocidade do som, em metros/segundo
 - L é o comprimento da corda em metros, e
 - n é o número harmônico
- Já vimos as características acústicas dos tubos abertos nas duas extremidades e dos tubos fechados numa só extremidade.

Então, agora vamos falar um pouquinho dos tubos fechados em suas duas extremidades. Bem, o comportamento acústico desses tubos é em tudo semelhante ao das cordas fixadas em suas duas extremidades. Logo, todas as expressões utilizadas para calcular comprimentos de onda e as frequências de ressonância nas cordas fixadas nas duas extremidades são aplicáveis aos tubos fechados nas suas duas extremidades.

Muita gente acha estranho o fato de não poder ver com seus próprios olhos esses “episódios acústicos” que ocorrem no interior dos tubos.

Pois bem, isso realmente intrigou muita gente no passado. Inclusive um cientista alemão chamado Charles Kundt, que acabou resolvendo a charada.

Esse estudioso acabou publicando um artigo técnico no qual descreveu uma experiência, que pela riqueza de detalhes e correção científica viria a se tornar um clássico nos cursos de física em todo o planeta.

Nessa experiência Kundt usou um tubo cilíndrico de vidro, bem transparente, equipado com um alto-falante numa extremidade e um plugue na outra. O plugue permitia variar o comprimento efetivo do tubo.

O interior do tubo continha uma certa quantidade de talco refinado.

Com esses ingredientes, Kundt tornaria visível o que até então era invisível.

A figura 3.84 ilustra o tubo K, nome carinhoso para o tubo de Kundt.

As paredes do tubo estão indicadas na cor azul claro no desenho. O falante está no lado esquerdo e o plugue retangular, em cor azul mais escuro que no caso anterior, está no lado direito do desenho. O talco acaba se concentrando onde o movimento das partículas de ar é mínimo ou nulo. Sim, agora sabemos, nós nós.

Se o alto-falante for energizado por um amplificador alimentado por um gerador de áudio, poderemos facilmente variar a frequência no gerador enquanto observamos a resposta visível das correspondentes alterações no interior do tubo K.

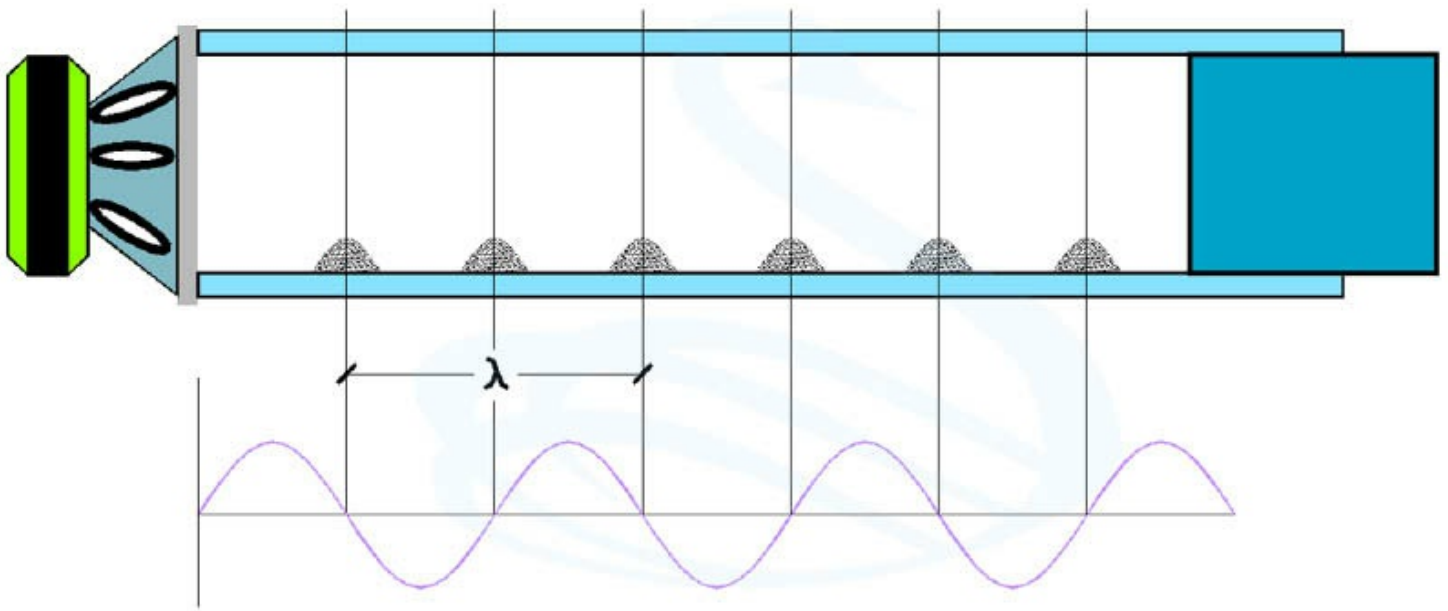


figura 3.84 tubo de Kundt, ou tubo K

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne De fato, os pequenos montinhos de talco migrarão para que, independentemente da frequência, fiquem sempre coincidentes com os nós.

Muito bem. Estudadas essas questões conceituais elementares vamos passar diretamente às ondas estacionárias. E como temos que fazer uma análise acústica, vamos pensar no mais simples dos ambientes fechados. Uma sala de estar retangular residencial. Isto mesmo. Uma sala confinada por 4 paredes verticais, pelo piso e pelo teto. Portanto, há três pares de superfícies paralelas. As paredes norte-sul, as paredes leste-oeste, e o conjunto piso-teto. E aí temos as três dimensões da sala.

Infelizmente, qualquer ambiente tridimensional ainda é um tanto ou quanto complexo para nossos propósitos de análise.

Se queremos ser bem sucedidos nessa tarefa, precisamos encontrar uma forma de fragmentar o problema em partes e isolar uma delas para análise. O ideal seria que pudéssemos começar nossa análise pensando unidimensionalmente.

Ora, há algumas maneiras de se fazer isso.

Creio que a melhor é lançar mão de dois exemplos. O das paredes paralelas, do qual nos valemos anteriormente, e o de um tubo fechado em suas duas extremidades.

Essas duas alternativas nos permitem fazer a análise contundente de como os sons se comportam entre duas paredes paralelas quaisquer de uma sala, sem que tenhamos que nos preocupar com as contribuições dadas pelas demais superfícies.

Pensem inicialmente no tubo. Como vimos, qualquer tubo fechado e cheio de ar é um ressonador natural por excelência. Sim, porque ele é capaz de manter as vibrações provocadas em seu interior.

Podemos provocar as vibrações soprando ar em seu interior por uma abertura numa das extremidades fechadas.

Vamos imaginar que temos um tubo longo e de diâmetro suficientemente grande para que possamos colocar em seu interior um pequeno alto-falante. Ao qual está ligado um amplificador de potência, alimentado por um gerador de áudio. Desse modo, podemos variar a frequência do som que o alto-falante irá reproduzir.

Pegamos uma furadeira e fazemos um furinho no tubo.

E começamos a reproduzir frequências, subindo no espectro das baixas para as altas. Inicialmente, teremos a percepção de um som distante, cuja frequência vai aumentando paulatinamente.

Num dado momento, a pouca energia proveniente do falante é muito reforçada. É quando ouvimos pelo furinho do tubo um som bem mais intenso do que antes.

Quando isso acontece, vamos verificar que a frequência reproduzida pelo falante coincide com a frequência natural de ressonância do tubo. Depois do que vimos sobre as cordas e os tubos você deverá estar apto a compreender bem esse fenômeno. Para ajudar, lembre-se que a frequência de ressonância natural do tubo depende apenas de seu comprimento e do comprimento de onda da frequência em questão.

Aumentamos a frequência no gerador e o som torna-se débil novamente. Mas será mais uma vez bem mais forte quando a frequência atingir o dobro da frequência natural de ressonância anterior. Sim, estou me referindo à segunda harmônica.

E esses picos ressonantes se repetem para todos os múltiplos inteiros da frequência natural de ressonância do tubo. Ou seja, em cada uma de suas harmônicas.

Vejamos isso com um exemplo gráfico. A figura 3.85.A mostra um tubo de comprimento L metros fechado em suas duas extremidades.

Se colocarmos um falante numa dessas extremidades e ligarmos o gerador e o amplificador, o som reproduzido pelo falante vai viajar na direção da extremidade oposta, onde será refletido e caminhará de volta para sua origem. Ele será refletido sequencialmente várias vezes por uma e por outra extremidade.

Há uma particular frequência F_0 , para a qual ocorre justamente o que a figura 3.85.B representa. Isto é, o som inicialmente reproduzido pelo falante viaja da extremidade esquerda para a direita, de modo que a compressão começa a aumentar de saída até atingir seu valor máximo exatamente no centro do tubo. E em sua viagem de volta, logo após a primeira reflexão, o som começa a aumentar sua rarefação, para atingir seu valor máximo também no centro do tubo.

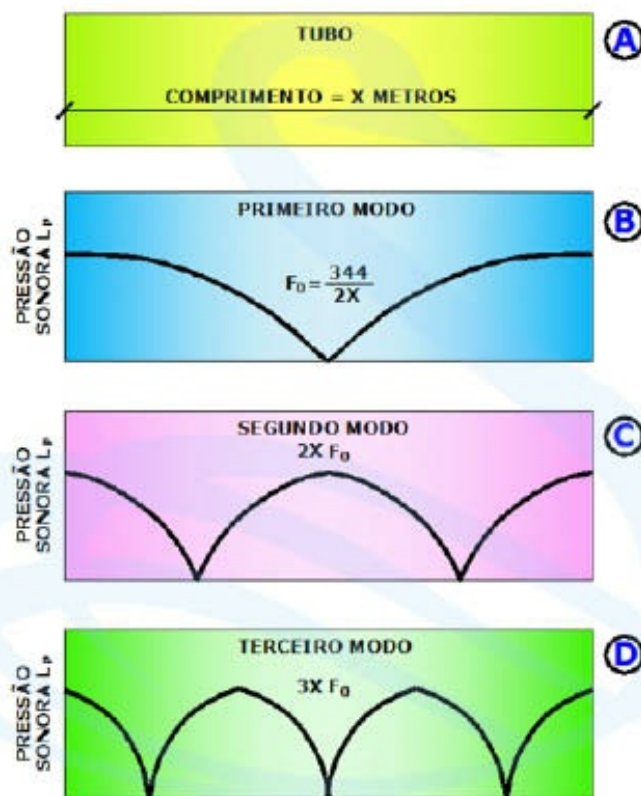


figura 3.85 reflexões do som entre duas paredes paralelas e a formação de ondas estacionárias acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isso significa que no centro do tubo a máxima compressão e a máxima rarefação se encontram, para produzir o cancelamento do som. É o nó.

Podemos dizer que as ondas que viajam num sentido se combinam com as que viajam no sentido contrário, para constituir a ressonância. Isto é, a ressonância resulta da soma simples das pressões sonoras das ondas superpostas, que caminham em sentidos opostos.

Para pensarmos na sala, basta que recordemos o caso das extremidades paralelas do tubo fechado dos dois lados. O fenômeno é idêntico. E essas ondas que se combinam, apresentam o comportamento teimoso e insistente de persistir nos tubos e nas salas. Por isso mesmo são chamadas ondas estacionárias.

Apenas para sabermos exatamente do que estamos falando, devo dizer que há uma série de sinônimos para o termo ondas estacionárias, alguns deles também utilizados neste livro. São eles: eigentones (de origem europeia e hoje considerado obsoleto), ressonâncias, ressonâncias da sala, frequências permissivas, frequências naturais, modos e modos acústicos.

Agora, atenção para a figura 3.85.B.

Lá está a representação da soma simples das pressões sonoras das ondas superpostas, que se combinam, quando a frequência é F_0 . Esta é a frequência natural de ressonância de duas paredes paralelas distantes de L metros.

A expressão 3.23 nos permite calcular esta frequência para quaisquer casos, inclusive os de salas, no mundo real.

$$F_o = \frac{v_s}{2L} \quad (3.23)$$

onde

* F_0 é a frequência natural de ressonância do tubo, em Hz * v_s é a velocidade do som em metros/segundo, e * L é a distância entre as duas extremidades do tubo, em metros O mesmo fenômeno que produz a ressonância na frequência F_0 , também produz ressonâncias nas frequências harmônicas da fundamental F_0 . Ou seja, nas frequências $2 F_0$, $3 F_0$, $4 F_0$, $5 F_0$ e assim por diante. As figuras 3.85.C e 3.85.D esquematizam como varia a pressão sonora ao longo do tubo fechado, quando o ar em seu interior é posto a vibrar, respectivamente para $2F_0$ e $3F_0$.

Portanto, a onda estacionária correspondente à frequência natural de ressonância das paredes paralelas se faz acompanhar por uma sucessão de outras, correspondentes às frequências harmônicas. Nos laboratórios de acústica há tubos de prova, como o da figura 3.84. E outros, com ranhuras longitudinais, através das quais é possível introduzir microfones de teste, e deslocar suas posições ao longo do tubo.

Quando a frequência produzida pelo falante coincide com a frequência de ressonância do tubo, esses microfones medem elevados níveis de pressão sonora junto às extremidades e valores próximos de zero no centro, como ilustra a figura 3.85.B.

Já vimos que esses pontos nulos são chamados nós, e os pontos de máxima são os anti-nós, ou ventres, ou ainda, ventres de máxima. Todos esses termos são de emprego muito comum em acústica.

Portanto, nós e anti-nós são constatados para a frequência de ressonância do tubo, e também, para todas as frequências múltiplas inteiras dessa frequência.

Bem caro leitor, o que vimos são princípios básicos que estão por trás dos instrumentos musicais tubulares, como a flauta, a clarineta, o órgão, *etc.*

Quanto maior a ordem das harmônicas presentes, maior as quantidades de nós e de anti-nós.

Como vimos, o que determina a frequência natural de ressonância nos tubos é o próprio comprimento. E a mesma coisa acontece entre duas paredes paralelas de qualquer sala.

Agora que vimos isso podemos dizer que, ao menos para efeito de análise, nossa sala de estar típica, com suas três dimensões, comporta-se como se fosse três tubos dispostos ortogonalmente entre si, cada um representando uma dimensão.

Logo, as frequências naturais de ressonância, e suas harmônicas, são governadas pela largura, comprimento e altura da sala.

O que acabamos de ver pode ser colocado de outra maneira. Nos tubos e nos casos reais, ao deixar os falantes, os sons de determinadas frequências se propagam e se refletem exibindo nós e anti-nós em locais diferentes. Simultaneamente, outras frequências produzem novos nós e

anti-nós, que ocorrem em locais diferentes dos anteriores.

Nos casos reais das salas, quando ocorre uma compressão máxima e uma rarefação máxima no mesmo ponto, o que para qualquer ambiente é apenas uma função da dimensão considerada e da frequência do som, a intensidade de som dificilmente chega a ser nula. Mas atenuações acústicas de até 20,0 dB podem ser constatadas auditivamente.

Assim, numa sala, e para a mesma frequência, há convivência de reforços e atenuações, que ocorrem ao mesmo tempo em vários locais diferentes.

E para cada uma das frequências fundamental e harmônicas do espectro o quadro é semelhante, variando as intensidades dos reforços e atenuações, além de suas posições. Naturalmente, o resultado final disso tudo é uma combinação do que ocorre com todas essas frequências.

3.16.2 Modos Acústicos Se ao invés de tomarmos apenas o exemplo da sala com seu comportamento equivalente ao de três tubos ortogonais entre si, mas pensarmos num recinto fechado com todas as suas paredes e superfícies paralelas e não paralelas, e não esquecermos que as reflexões não acontecem apenas como no caso de nosso exemplo, podemos aceitar mais facilmente o extremo grau de complexidade acústica de qualquer ambiente fechado.

A figura 3.86 mostra os três modos clássicos de formação de ondas estacionárias. O conjunto desses três modos é chamado de modos normais.

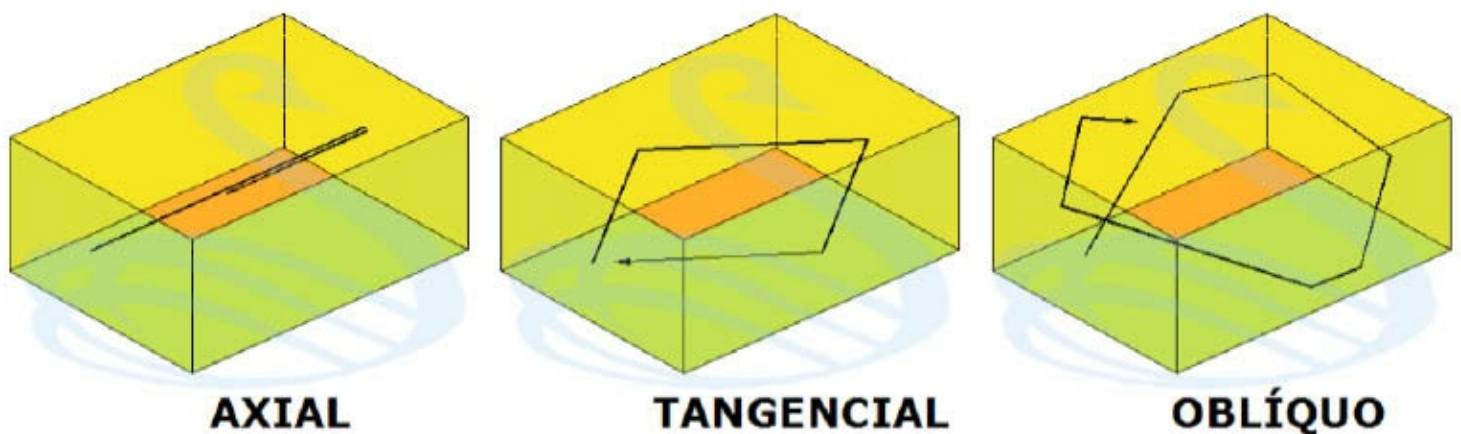


figura 3.86 modos de reflexão axial, tangencial e oblíquo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O modo axial é exatamente como vimos até aqui, com as reflexões mantendo as direções norte-sul, leste-oeste, e piso-forro.

No modo tangencial, as reflexões ocorrem tipicamente num plano. Pode ser qualquer plano horizontal, ou qualquer plano vertical orientado na direção norte-sul ou leste-oeste. Dessa forma, fica fácil entender que uma quantidade enorme desses planos compõem o conjunto das reflexões de modo tangencial.

O modo oblíquo é aquele no qual as reflexões sucessivas não obedecem mais a um padrão definido. Os ângulos de reflexão ainda são iguais aos de incidência.

Destes três modos, o que mais impõe distúrbios é certamente o axial. Seguido do

tangencial, e finalmente, do oblíquo. E essa deve ser a ordem de preocupação do profissional que trata da acústica de um recinto fechado.

Vale notar que esses modos simplesmente não podem ser eliminados. O que significa que teremos que conviver com eles. Assim, com relação ao controle das ondas estacionárias, a tarefa se resume na procura de uma condição tal que os efeitos provocados sejam minimizados.

Para fazer isso, devemos pensar no ambiente fechado, lembrando que a ocorrência dos três modos é simultânea. O que nos facilita entender porque há várias frequências que são naturalmente atenuadas e outras tantas que são naturalmente reforçadas.

Além disso, devemos nos lembrar que as magnitudes desses reforços e atenuações variam de zero até valores consideráveis, e que ainda, os pontos onde essas ocorrências se verificam são nitidamente distintos.

A figura 3.87 nos dá uma ideia bastante clara de como a distribuição de energia se afasta do que seria ideal em virtude da ação dos modos axial, tangencial e oblíquo. A figura mostra a ação separada de cada um desses modos, mas sabemos que os resultados efetivos decorrem da combinação dessas ações, com grande predominância dos modos axiais.

Por todas essas razões, o volume de ar dentro de qualquer ambiente fechado é um sistema vibratório extremamente complexo. Do ponto de vista puramente acústico, não é errada a afirmação que qualquer ambiente fechado exhibe sua própria assinatura acústica.

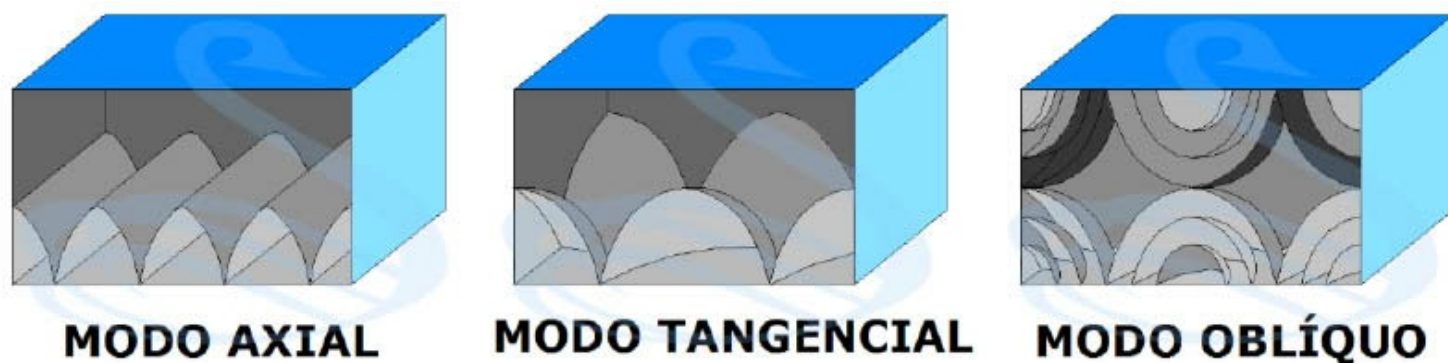


figura 3.87 distribuição de energia imposta pelos modos normais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As ressonâncias de uma sala, ou modos normais, provocam uma coloração que lhes é típica e característica. E é preciso mencionar que em quaisquer salas há muitas frequências características e ondas estacionárias associadas a elas.

Podemos resumir dizendo que num ambiente fechado a distribuição do campo de som pode ser tudo, menos homogênea. Sempre marcada por grandes variações de intensidade de um ponto para outro, e com frequências ora reforçadas, ora atenuadas.

Isso vale para ambientes acusticamente tratados ou não. Uma das vantagens do tratamento acústico bem planejado é que, até certo ponto, os problemas de falta de uniformidade de campo acústico podem ser controlados.

3.17 TEMPO DE REVERBERAÇÃO (RT_{60})

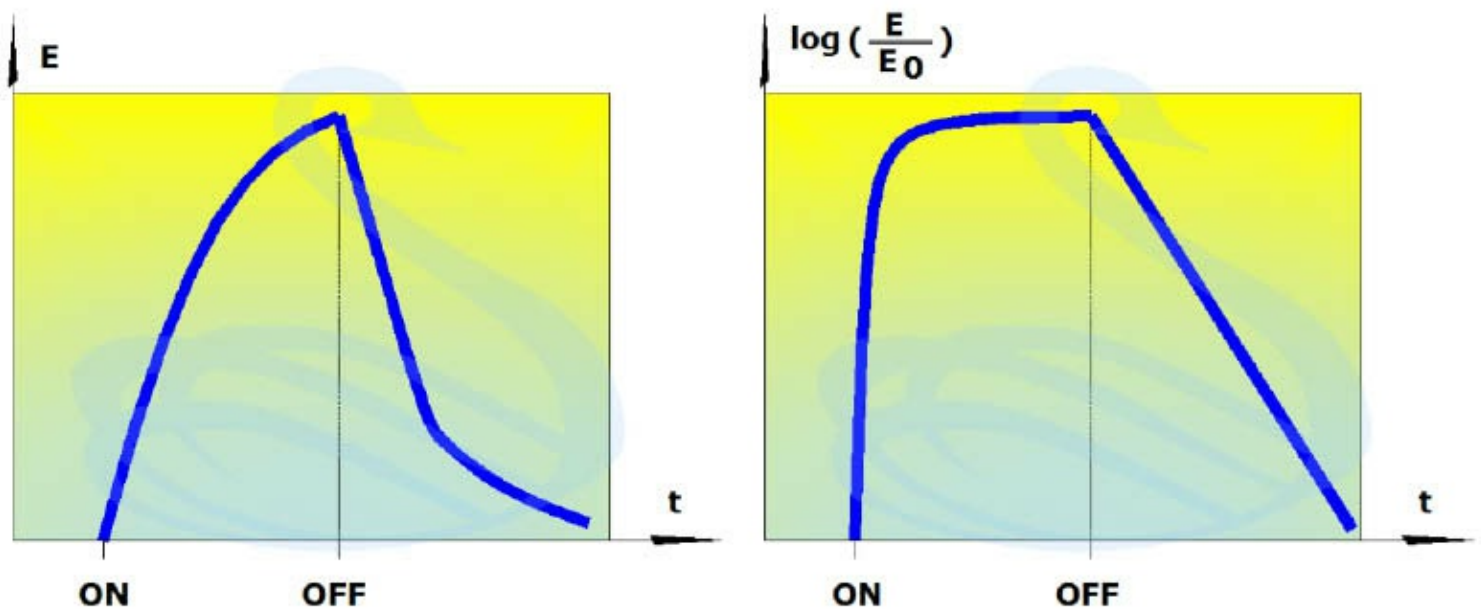


figura 3.88 ilustração do RT_{60} - Tempo de Reverberação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
 Imaginemos uma sala fechada na qual se liga uma fonte de som. A partir do momento em que a fonte é ligada, a energia na sala começa a aumentar gradualmente, até atingir um limite. Se no momento em que esse limite é atingido a fonte é desligada, a energia vai diminuindo gradualmente, até ser totalmente absorvida pelas superfícies internas da sala.

Isso é o que mostra o lado esquerdo da figura 3.88, na qual o eixo horizontal representa tempo e o eixo vertical representa intensidade de energia.

O lado direito da figura mostra exatamente a mesma coisa.

A única diferença entre as duas figuras é que o eixo vertical da última não representa mais intensidade de energia de modo linear, mas numa escala logarítmica.

Nota-se então que a energia parece crescer muito mais rapidamente, e a queda apresenta-se como uma reta.

Define-se tempo de reverberação de um recinto como o intervalo de tempo, expresso em segundos, necessário para que a energia acústica nesse recinto caia para $1/1.000.000$ de seu valor original, a contar do momento em que a fonte que produz a energia é desligada.

O termo RT_{60} deve-se ao fato que $10 \log (1/1.000.000) = - 60,0 \text{ dB}$.

A figura 3.89 ilustra graficamente o tempo de reverberação.

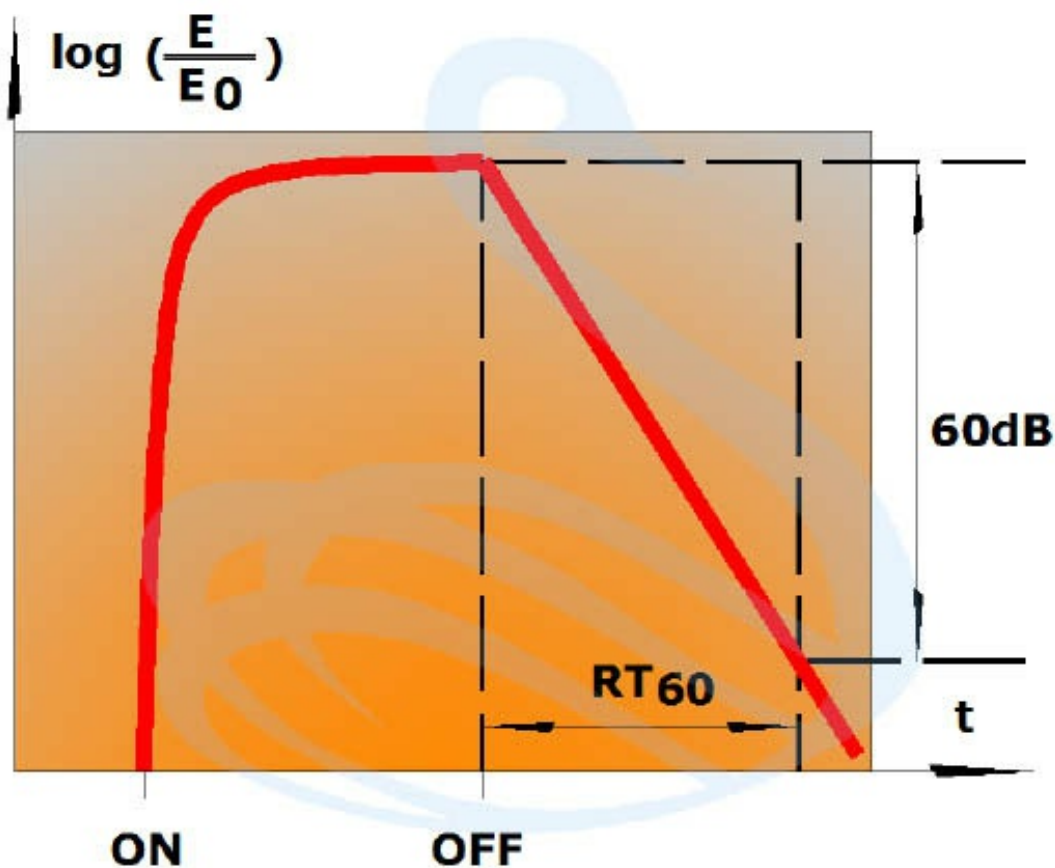


figura 3.89 ilustração gráfica do Tempo de Reverberação cortesia JBL Professional Na prática, não é comum termos a queda linear, como mostra a figura 3.89.

Em verdade, essa é uma figura apenas teórica.

Nos casos reais, as quedas são complexas e por vezes difíceis de analisar.

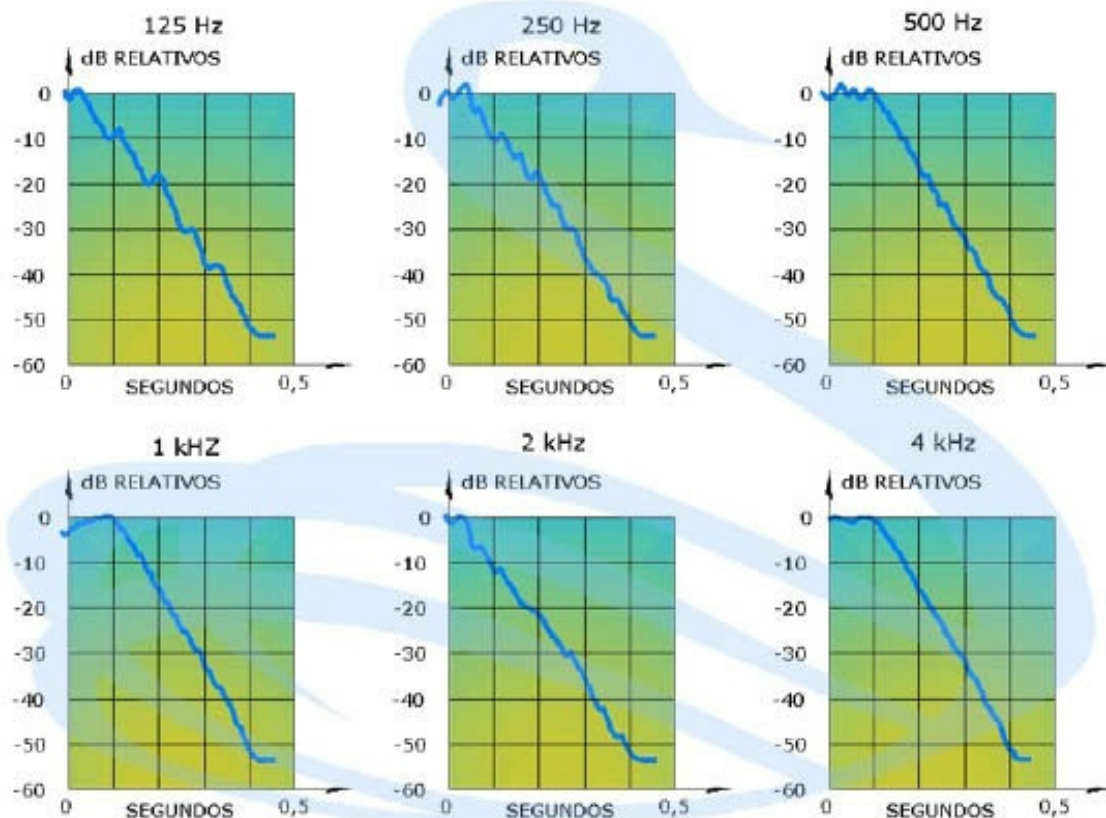


figura 3.90 quedas típicas de RT_{60} para diversas bandas de frequências acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 3.90 exibe as quedas típicas correspondentes aos tempos de reverberação de seis bandas diferentes de oitavas, centradas nas frequências indicadas nas próprias figuras.

A análise dessas figuras revela uma série de fatos. Inicialmente, vemos que as flutuações

são bem mais severas nas baixas frequências, tornando-se progressivamente mais lineares à medida em que as bandas vão subindo no espectro.

A propósito, se lembrarmos que as estacionárias vão se fundindo mais e mais com o aumento das frequências, esse é mesmo o comportamento que deveríamos esperar de qualquer local.

Também não devemos esperar por quedas semelhantes para todas as bandas, porque os tempos de reverberação podem ser diferentes para cada uma delas. A medida dessas diferenças pode ser avaliada exatamente por esse tipo de análise gráfica.

Sabendo que as flutuações nas quedas do RT_{60} devem-se às ondas estacionárias, podemos então, avaliando os gráficos, estabelecer com razoável precisão o grau dos problemas impostos pelos modos acústicos para cada banda de frequências.

Os exemplos mais eloquentes da permanência dos sons em recinto fechados a partir do momento em que as fontes são desligadas são os próprios banheiros de nossas casas. Ao menos se eles são azulejados.

Experimente entrar em seu banheiro, fechar a porta, e bater palmas quando o local estiver relativamente silencioso.

Você vai notar que após o encontro de suas mãos o som produzido permanece por um tempo ainda longo no banheiro.

Nesse caso se diz que a acústica do banheiro é viva.

Digamos que o som tenha permanecido no banheiro por 2 segundos até que você não o perceba mais.

No caso daquele banheiro, o som teria viajado 688 metros ($344 \text{ m/s} \times 2 \text{ segundos}$) até que se tornasse imperceptível.

Vamos introduzir agora o conceito de caminho livre médio, ou CLM. Ele é dado pela fração:

$$CLM = \frac{4.V}{S} \quad (3.24)$$

onde

* V é o volume do recinto em metros cúbicos, e * S sua superfície interna total em metros quadrados. Suponhamos que o banheiro do nosso exemplo tenha 3,0 metros de comprimento por 2,0 de largura, por 2,5 metros de altura.

Então,

$$CLM = \frac{4 \times 15}{37} \cong 1,62 \text{ metros}$$

Sabendo que nosso som viajou 688 metros durante os 2 segundos, com CLM igual a 1,62 metros, podemos calcular a quantidade de reflexões nas paredes, chão e teto:

$$\frac{688}{1,62} \cong 425$$

Se quisermos determinar a quantidade de reflexões que temos a cada segundo, basta calcular

$$R / s = \frac{v}{CLM} \quad (3.25)$$

onde v é a velocidade do som em metros por segundo. Para velocidade do som igual a 344 metros/segundo, a expressão passa a ser

$$R / s = \frac{344}{CLM} \quad (3.26)$$

Como o RT_{60} é definido para uma queda do nível original de energia, de 1.000.000 de vezes, podemos escrever

$$e^{6 \ln 10} = 1.000.000 \quad (3.27)$$

Desse modo, a quantidade total de reflexões (QTR) durante o tempo de queda dos 60 dB é

$$QTR = 6 \ln 10 \frac{1}{a} \quad (3.28)$$

Evidentemente, o RT_{60} em segundos é a fração que tem QTR por numerador e R/s por denominador.

3.17.1 Sabine

Reunindo os termos das expressões 3.13, 3.14 e 3.17 chegamos a:

$$RT_{60} = \frac{QTR}{R/s} = \frac{6 \ln 10 \left[\frac{1}{\bar{a}} \right]}{\frac{344}{\frac{4V}{S}}} = \frac{0,161.V}{S.\bar{a}} \quad (3.29)$$

A expressão acima é a equação de Sabine, utilizada para cálculos de tempo de reverberação, onde V é o volume interno (m^3) do recinto e S a superfície interna total (m^2), com $\bar{a}$ representando o coeficiente médio de absorção do recinto.

Na prática, e sem fazer medições, é muito difícil determinar o valor de $\bar{a}$ quando são utilizados vários materiais no acabamento interno.

Por essa razão é comum decompor o termo $S.\bar{a}$ em

$$S.\bar{a} = S_1.\bar{a}_1 + S_2.\bar{a}_2 + \dots + S_N.\bar{a}_N \quad (3.30)$$

onde

* $\bar{a}_1, \bar{a}_2$, etc., são os coeficientes de absorção acústica de cada tipo de material, e * S_1, S_2 , etc., as áreas que lhes correspondem. Como vimos anteriormente, os materiais não absorvem igualmente sons de frequências diferentes.

Isto é, os coeficientes de absorção variam com a frequência, e é preciso calcular o tempo de reverberação para várias bandas de frequências de interesse.

Usualmente o cálculo é feito por oitavas, e as frequências centrais de interesse são: 125, 250, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz.

Tudo o que se precisa para fazer os cálculos é conhecer o ambiente e os coeficientes de absorção dos materiais utilizados em seu interior.

3.17.2 Norris-Eyring Na década de 30 diversos pesquisadores procuraram adaptar a equação de Sabine para casos de recintos com baixos tempos de reverberação. Resultou a expressão Norris-Eyring

$$RT_{60} = \frac{0,161.V}{-S \ln(1 - \bar{a})} \quad (3.31)$$

Até há bem pouco tempo se dava muita preferência a esta expressão para cálculos de RT_{60} em recintos para os quais se previam resultados inferiores a 2,0 segundos. Mas trabalhos como os produzidos por Gilbert, e particularmente Joyce, mostraram de forma muito clara a imprecisão na aplicação da expressão Norris-Eyring para ambientes altamente absorvedores. Esses estudiosos mostraram também que nestes casos equações geométricas não podem ser resolvidas corretamente, e nem mesmo de forma satisfatória.

3.17.3 Fitzroy

Após muito trabalho, Daniel Fitzroy concluiu que em recintos onde a absorção não é uniforme, os tempos de reverberação calculados são invariavelmente inferiores aos valores reais. E ofereceu sua expressão

$$RT_{60} = \frac{0,161.V}{S} \left(\frac{2(XY)}{\bar{a}_{XY}} + \frac{2(XZ)}{\bar{a}_{XZ}} + \frac{2(YZ)}{\bar{a}_{YZ}} \right) \quad (3.32)$$

* X, Y e Z são as três dimensões do recinto, e

* $\bar{a}_{XY}$, $\bar{a}_{XZ}$ e $\bar{a}_{YZ}$ os coeficientes de absorção de cada par de paredes paralelas

Esta expressão é considerada de excepcional aplicabilidade em casos reais, particularmente quando as superfícies de piso e forro são relativamente absorvedoras e as demais, relativamente reflexivas.

Mas os tempos de reverberação também podem ser medidos com o auxílio de medidores de RT_{60} , e mesmo com instrumentos modernos de múltiplas funções, capazes inclusive de medir tempos de reverberação. Como ilustra a figura 3.91.



figura 3.91 analisador de espectro de áudio com funções de medição de Tempo de Reverberação, Klark Teknik modelo DN6000

cortesia Klark Teknik Atualmente há alguns programas que podem ser utilizados com computadores, capazes de fazer medições detalhadas de RT_{60} .

Conhecidos os tempos de reverberação calculados por quaisquer das fórmulas, ou mesmo medidos, é possível obter os coeficientes de absorção acústica do ambiente, mediante cálculo através das seguintes expressões:

$$\text{Sabine} \quad \bar{a} = \frac{0,161.V}{S.RT_{60}} \quad (3.33)$$

$$\text{Norris-Eyring} \quad \bar{a}_{NE} = 1 - e^{-\left[\frac{0,161.V}{S.RT_{60}} \right]} \quad (3.34)$$

$$\text{Fitzroy} \quad \bar{a}_F = \frac{0,161.V}{S.RT_{60}} \quad (3.35)$$

3.17.4 Constante do Ambiente (R) Agora vamos introduzir um conceito bastante importante, que é o da Constante do Ambiente.

Define-se constante do ambiente (R) como sendo uma fração cujo numerador é o produto da superfície interna total do ambiente, expressa em metros quadrados, pelo coeficiente médio de absorção acústica, e cujo denominador é a unidade subtraída do coeficiente médio de absorção acústica:

$$R = \frac{S \cdot \bar{a}}{1 - \bar{a}} \quad (3.36)$$

A constante do ambiente é o valor modificado da absorção total do ambiente. Baixos valores de R indicam ambientes “vivos”, e inversamente, altos valores de R indicam ambientes com características muito absorvedoras.

3.17.5 O RT_{60} Ideal

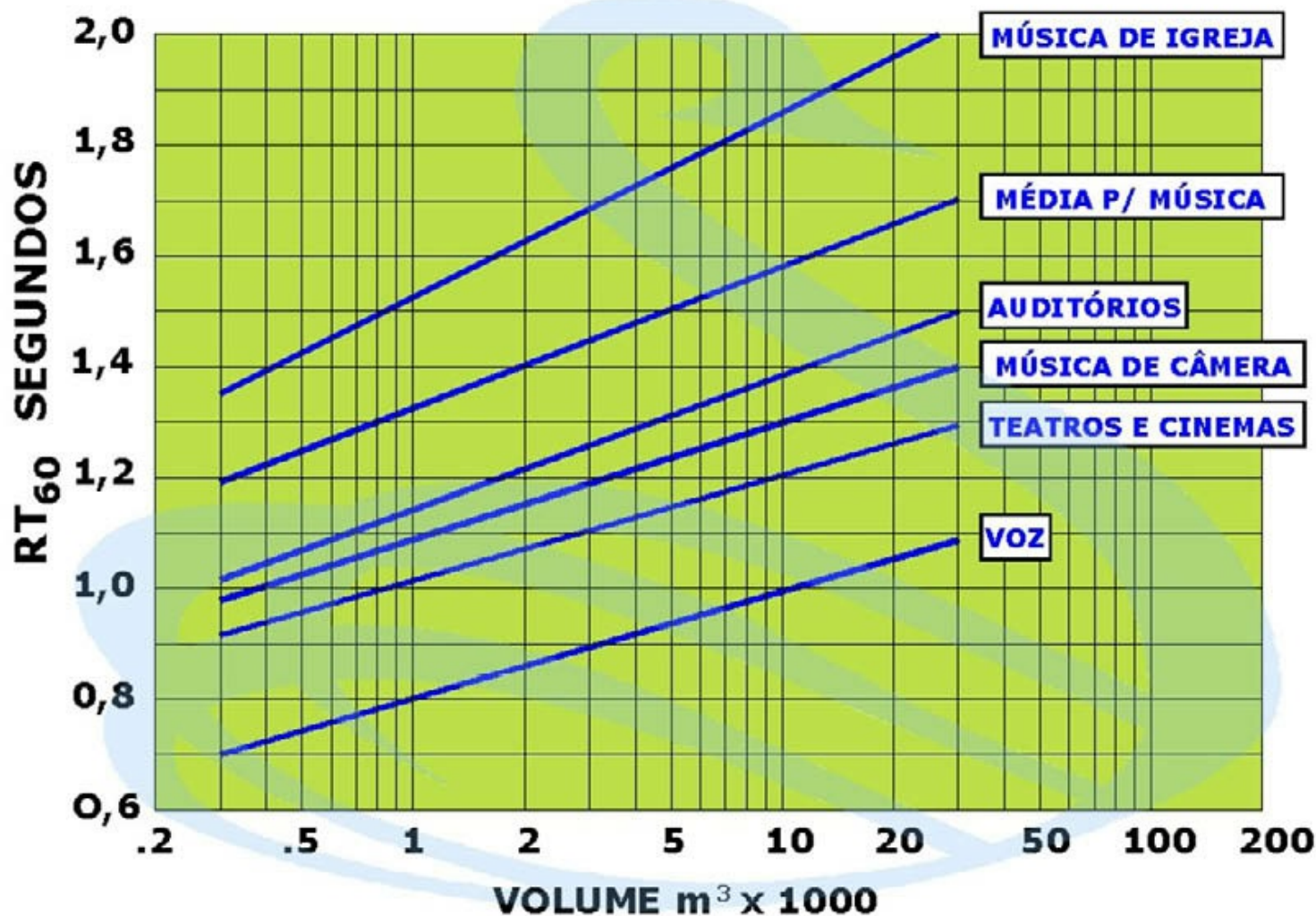


figura 3.92 tempos de Reverberação mais adequados para ambientes com diferentes volumes, para algumas atividades distintas - gráfico elaborado pela Cysne Science Publishing Co., a partir de dados levantados pela Acoustical Society of America. Isto posto, e agora que sabemos o que é tempo de reverberação, notamos que os valores de RT_{60} variam com a frequência. O significado disso é que o ambiente poderá ser muito morto (baixo RT_{60}) para algumas frequências, muito vivo (RT_{60} elevado) para outras, e ainda, adequado em algumas regiões.

Mas o que é exatamente tempo de reverberação adequado?

Quanto maior o ambiente, em princípio mais elevado pode ser o tempo de reverberação. Para reforço vocal, como numa palestra, o tempo de reverberação ideal é sempre inferior ao considerado ideal para reforço de música. Não há propriamente um único valor universalmente

aceito como o melhor.

Frequentemente, os vários autores têm opiniões diferentes sobre o valor para o mesmo tipo de programa a ser reforçado, e ainda, para o mesmo local. Felizmente as discrepâncias são discretas, e os valores convergentes.

A figura 3.92, que representa a opinião combinada de inúmeros especialistas, é suficientemente precisa para estabelecer os tempos ideais de reverberação para ambientes de vários tamanhos e programações distintas.

Alguns autores entendem que o tempo de reverberação deve ser o mesmo para todas as frequências.

Outros julgam que ele deve ser ligeiramente mais elevado abaixo de 512 Hertz, nas proporções da figura 3.93. E há os que preferem relações diferentes das indicadas na figura.

Em qualquer das hipóteses é óbvio que alguns recintos já construídos apresentarão tempos de reverberação relativamente coerentes, e outros não.

Diante dessa possibilidade, o ideal é corrigir a acústica do recinto sempre que necessário, substituindo ou incluindo materiais com propriedades acústicas tais que os tempos de reverberação resultem próximos dos ideais.

No caso de recinto ainda não construído bastará estabelecer os materiais que conduzam àquela condição ideal, ou algo próxima dela. Fica claro agora porque não se pode introduzir aleatoriamente quaisquer materiais acústicos, sem estudos?

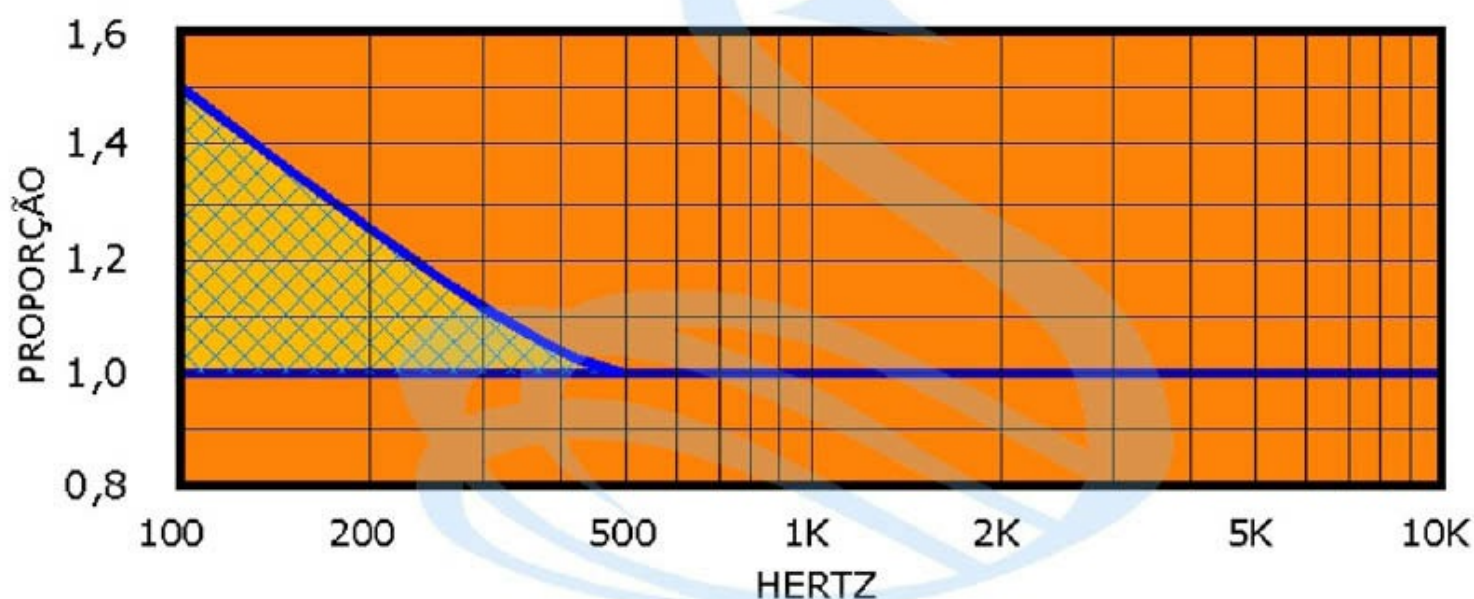


figura 3.93 valores de RT_{60} para diferentes frequências cortesia Acoustical Society of America A ideia de introduzir materiais acusticamente absorvedores para reduzir o NRA é algo que geralmente leva ao desperdício, sem a obtenção dos resultados desejados. De fato, a introdução de materiais acusticamente absorvedores sempre acaba por reduzir o ruído, mas apenas de acordo com a expressão:

$$\text{Atenuação de Ruído} = 10 \log \frac{\bar{a}_{antes}}{\bar{a}_{depois}} \quad (3.37)$$

Assim, após grandes esforços para se elevar o coeficiente médio de absorção de 0,2 para 0,6, o ruído cai apenas 4,8 dB!

3.18 HOMOGENEIDADE DE CAMPO DE SOM

3.18.1 Difusão

A principal causa da falta de difusão em qualquer recinto fechado são as ondas estacionárias.

De um modo geral esses problemas se concentram nas baixas frequências, e tendem a ser tão mais sérios quanto menor é o ambiente considerado.

Ambientes pequenos como estúdios de gravação, salas técnicas de controle, e até mesmo salas de música residenciais, tipicamente apresentam problemas até cerca de 300 Hz.

Para calcular mais precisamente qual é a frequência limite em qualquer caso, use a expressão

$$F = \frac{1.032}{d} \quad (3.38)$$

onde

* F é a frequência em Hertz abaixo da qual o recinto está sujeito a sérios problemas de ondas estacionárias de baixas frequências, e * d é a menor dimensão da sala, em metros. Randall e Ward alinham seis requisitos que caracterizam o que poderíamos chamar de condições ideais de difusão em qualquer ambiente fechado:

- as irregularidades entre as respostas de frequência da sala, como medidas em diversos locais da mesma, serão desprezíveis
- as flutuações nas quedas indicadas pelas medições de RT_{50} serão desprezíveis (ver figura 3.90)
- as curvas das quedas das medições de RT_{50} serão perfeitamente exponenciais (indicadas como retas em escalas logarítmicas)
- os tempos de reverberação serão muito semelhantes em quaisquer locais do recinto
- as características das quedas verificadas nas medições de RT_{50} serão essencialmente semelhantes para todas as frequências
- as características das quedas se mostrarão independentes das características direcionais do microfone utilizado nas medições

A difusão adequada de sons é extremamente importante porque, sem ela, ou quando o grau de difusão não é o suficiente, é certo que ou não existe controle sobre as ondas estacionárias, ou o controle é deficiente.

Além disso, sem difusão adequada, muitos dos cálculos de características acústicas carecerão da necessária acuidade, já que na acústica moderna a maioria dos cálculos pressupõe a perfeita difusão dos sons pelo recinto, o que se aplica por igual a todas as frequências.

Desse modo, uma das principais metas que se estabelece logo de partida em qualquer projeto de tratamento acústico de ambiente interno é obter adequada difusão de sons.

Para obter boa difusão dos sons num recinto fechado é preciso trabalhar com os seguintes fatores:

- forma física interna do ambiente
- proporções físicas do ambiente
- distribuição dos materiais absorvedores pelas superfícies internas
- uso de difusores

Os difusores são tratados no próximo item, e os demais fatores serão discutidos adiante, ainda neste capítulo.

3.18.2 Difusores Quando analisamos as reflexões anteriormente, vimos que as superfícies convexas são capazes de difundir os sons. Logo, tais superfícies são elementos difusores por excelência.

Chama-se difusor de som a qualquer dispositivo capaz de promover a difusão dos sons, ao invés de apenas refleti-lo, como uma superfície plana.

3.18.2.1 Difusores Policilíndricos



figura 3.94 painéis policilíndricos desenhados pelo autor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os difusores policilíndricos são a aplicação prática direta da propriedade difusora das superfícies convexas. Estamos falando de painéis como os da figura 3.94. Eles podem ser construídos com praticamente quaisquer materiais, como por exemplo a madeira.

Além de apresentarem excelentes propriedades de difusão, os painéis policilíndricos também possuem seus próprios coeficientes de absorção.

De modo que costumam ser empregados com a dupla função de absorver sons, e ainda, difundir as parcelas de som não absorvidas. No Apêndice F estão os coeficientes de absorção de vários painéis policilíndricos.

3.18.2.2 Difusores Geométricos Difusores geométricos são irregularidades geométricas, pendentes ou diretamente aplicadas às superfícies. Também é possível construir as superfícies já com as irregularidades. Abaixo algumas das formas mais utilizadas de difusores geométricos.

difusores esféricos



figura 3.95 difusores esféricos instalados no Hollywood Bowl, em Hollywood, Califórnia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os difusores esféricos são como os que estão instalados acima do palco e no interior da concha acústica da figura 3.95. Desculpem minha própria presença na foto, mas era a única que dispunha mostrando esse tipo de difusor. O local é o Hollywood Bowl, construído há muito no coração de Hollywood, Los Angeles, USA, mas reformado algumas vezes.

difusores cúbicos

A figura 3.96 mostra os difusores cúbicos.

Por serem difusores, esses elementos não devem ser construídos para que absorvam muito. Mas de qualquer forma, como sempre podemos escolher o material para sua confecção, é possível fazer a escolha para que eles se comportem para apresentar uma combinação desejada de difusão com absorção.



figura 3.96 difusores cúbicos instalados no Minnesota Association Orchestra Hall, em Minneapolis acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne difusores retangulares Se ao invés de esferas ou cubos, forem utilizados paralelepípedos, o mesmo princípio anterior será preservado. E temos então os difusores retangulares.

difusores em cunha

As cunhas, que são como fatias de bolo, geralmente são fixadas nas paredes. Como nas câmaras anecóicas. Nestas, a função única é a absorção. Por isso, o material preferido para as cunhas destinadas a estas câmaras é a fibra de vidro, enquanto as próprias cunhas são construídas sempre muito pronunciadas.

Para uso como difusores, as cunhas são sempre pouco pronunciadas, e geralmente confeccionadas com materiais portadores de baixos coeficientes de absorção.

Melhores resultados são obtidos quando as bordas das cunhas são dispostas tanto no sentido vertical, quanto no horizontal.



figura 3.97 difusores em forma de calotas, utilizados no Royal Albert Hall, em Londres acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Calotas são superfícies como o nome sugere.

As calotas tanto podem ser aplicadas às superfícies, como ficar pendentes, como mostra a figura 3.97.

Quanto ao material, tanto as calotas quanto os domos, ambos geralmente são feitos com materiais que absorvem um mínimo de som.

A ideia é apenas difundi-los.

pirâmides

Por sua forma geométrica, as pirâmides são excelentes elementos de difusão.

Elas podem ser diretamente aplicadas às paredes e/ou forro, e construídas em quaisquer tamanhos.

Quanto ao material, prevalece o que já vimos para os demais difusores geométricos, com certa preferência pelo gesso, pela madeira e pela fibra de vidro.

A figura 3.98 exemplifica o uso de difusores piramidais.



figura 3.98 difusores em forma de pirâmide, instalados no Louise M. Davies Symphony Hall, em San Francisco, Califórnia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne almofadas



figura 3.99 difusores em forma de almofadas, utilizados no Gewandhaus, em Leipzig acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As almofadas são como pirâmides com a parte superior cortada. E com isso se cria mais uma superfície de difusão.

O plano do corte pode ser paralelo ao da base, ou não. Neste último caso, é possível projetarmos várias almofadas com cortes em planos diferentes, com diferentes alturas da base,

e com diferentes inclinações.

O conjunto de almofadas assim combinadas acaba por apresentar excelentes características de difusão.

A figura 3.99 mostra a aplicação dos difusores em forma de almofadas nas paredes laterais.

outros difusores geométricos Além dos difusores discutidos, você já pode antecipar que criar muitos outros difusores geométricos é apenas uma questão de imaginação.

A figura 3.100 ilustra difusores geométricos com formas criativas, projetados com imaginação, de acordo com princípios da acústica mas, ainda, de forma integrada com as pretensões de visual.



figura 3.100 difusores geométricos instalados no Salle Wilfrid-Pelletier, em Montreal, Canadá acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Muitas vezes é preciso obter a difusão dos sons em ambientes onde o visual é muito valorizado. Nesses casos, geralmente a imaginação precisa ser convocada para vencer os desafios que encontramos.

Mas um pouco de trabalho nesse sentido quase que invariavelmente se torna uma experiência da qual dificilmente nos esquecemos.

3.18.2.3 O Dr. Manfred Schroeder e seus Difusores a La Carte Já discutimos como as frequências modais e as ondas estacionárias se desenvolvem nos ambientes fechados. Vimos que durante o projeto de acústica devemos tomar providências concretas no sentido de evitá-las. Especialmente trabalhando com as formas físicas do recinto, e utilizando difusores acústicos.

As superfícies planas ou curvas, em formas côncavas ou convexas, e todos os gêneros de difusores até aqui discutidos promovem a difusão dos sons como preconiza a teoria clássica da reflexão. Ângulos de reflexão iguais aos de incidência.

Portanto, todos os difusores dos quais falamos anteriormente são convencionais. E suas reflexões são chamadas especulares, numa alusão à imagem proveniente dos espelhos.

No século XVIII foram desenvolvidas algumas teorias de sequências numéricas. Em 1.975 o Dr. Manfred R. Schroeder as associou genialmente à acústica, o que possibilitou o desenvolvimento de novas técnicas de confecção de difusores, capazes de refletir sons de forma até então ainda não obtida.

Uma de suas primeiras ideias ao pensar em difusores acústicos foi utilizar na prática a

teoria dos códigos numéricos de comprimentos máximos.

Os cálculos feitos com base nessa teoria levam a uma determinada sequência de números, todos +1 e -1.

Estudos preliminares mostraram de forma inequívoca que a sequência calculada permitiria criar ruídos pseudoaleatórios. E mais, que o espectro de energia (transformada de Fourier) desses ruídos deveria ser muito amplo e absolutamente plano.

O que é facilmente relacionável com coeficientes e ângulos de reflexão.

Isso levou o Dr. Schroeder a imaginar um difusor acústico inusitado, que pudesse refletir sons de acordo com padrões muito diferentes dos padrões especulares, até então os únicos disponíveis.

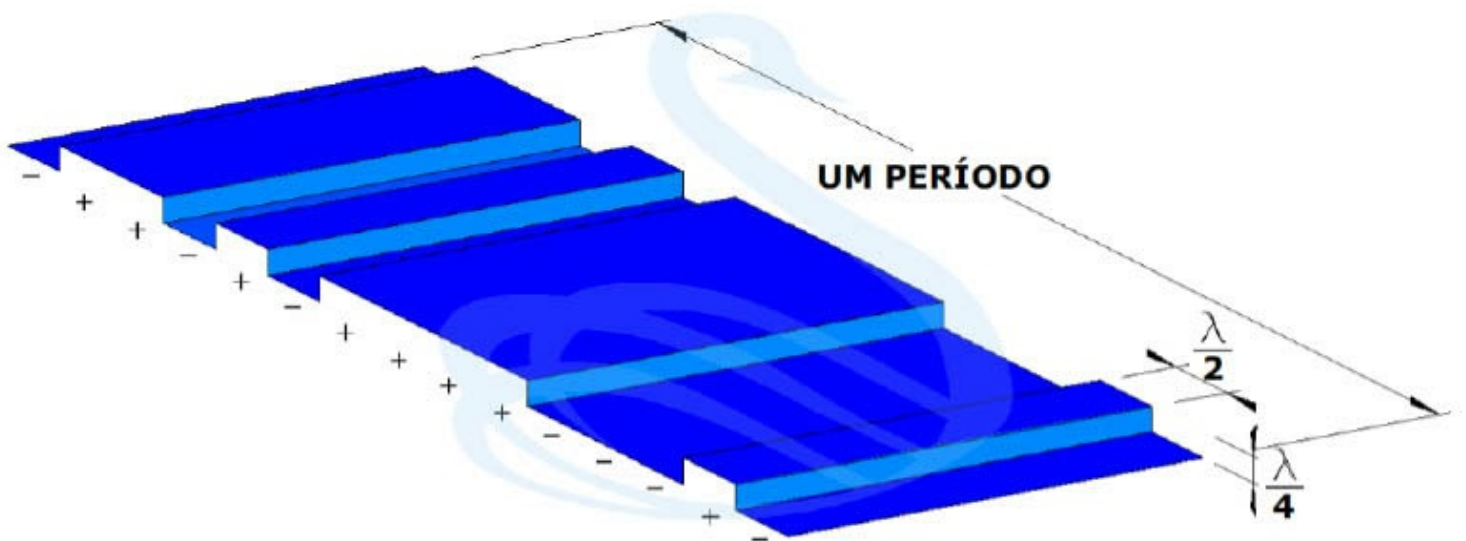


figura 3.101 o primeiro difusor de códigos de sequência de comprimentos máximos do Dr. Schroeder acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O difusor imaginado era muito simples. O termo -1 sugeria a reflexão proveniente do fundo de um sulco feito numa parede, de sorte que a profundidade do sulco fosse 1/4 do comprimento de onda da frequência desejada. O termo + 1 sugeria a reflexão proveniente da própria superfície da parede, sem sulcos. Portanto, o difusor poderia ser construído com uma chapa metálica dobrada, de forma que houvessem sulcos espaçados de acordo com a sequência calculada.

Após cálculos e recálculos, conferências apoiadas por extensivos trabalhos feitos com computadores, e todas as considerações e avaliações técnicas possíveis, não havia mais qualquer dúvida. Tampouco pontos fracos. Tudo era cristalino. Podia-se dizer que na teoria tudo funcionava como que por encanto.

Nessas alturas era preciso testar a ideia na prática. E o Dr. Schroeder mandou confeccionar uma chapa metálica dobrada, como mostra a figura 3.101. Uma vez construída a peça, era chegado o momento de fazer as medições dos padrões de reflexão do novo difusor.

Os resultados obtidos pelo Dr. Schroeder são o que nos mostra a figura 3.102.

Observem atentamente que o padrão de reflexões obtido com o novo difusor não tinha qualquer característica especular.



figura 3.102 o padrão de difusão do difusor de códigos de sequência de comprimentos máximos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ao contrário, as reflexões podiam ser consideradas tudo, menos especulares. Era evidente que a chapa dobrada havia assumido características marcantes de um difusor na plena acepção do termo. A energia era distribuída de uma forma inusitada, e jamais igualada por qualquer outro difusor acústico já construído.

O Dr. Schroeder sabia disso, e precisava continuar seu trabalho promissor. Inicialmente, ele verificou experimentalmente que qualquer desses difusores funcionava bem por uma oitava. Ou seja, se fossem projetados para 1.000 Hz, os difusores trabalhariam satisfatoriamente de 700 Hz a 1.400 Hz. O que já era um avanço, mas não deixava de ser uma séria limitação, porque esta é uma banda demasiado estreita para a maioria das aplicações de difusores acústicos.

Então o Dr. Schroeder continuou seu trabalho, mas agora apoiado por outra teoria dos números, que era a dos resíduos quadráticos. Novamente, a manipulação matemática da teoria dava lugar a uma série numérica. Sua aplicação prática num difusor acústico resultaria num tipo diferente de produto. Seria um difusor formado por sulcos contíguos, cada qual com sua própria profundidade, determinada pela série numérica calculada. Os cálculos do Dr. Schroeder indicavam que assim se trabalharia na região que os físicos denominam “Reflection Phase Grating”, ou simplesmente RPG.

A profundidade máxima dos sulcos podia ser determinada pelo maior comprimento de onda que se pretendia difundir. E a largura dos sulcos seria igual a meio comprimento de onda da maior frequência a ser difundida. Os primeiros testes práticos foram verdadeiros sucessos.

Os difusores trabalhavam muito bem ao longo de uma banda de quatro oitavas completas. Para tanto, tinham 17 sulcos, todos com a mesma largura.

A sequência numérica calculada foi:

Nesse difusor, hoje batizado QRD, para Quadratic-Residue-Difusor, os sulcos contíguos são separados por chapas metálicas muito finas.

O grupo dos 17 sulcos é denominado período, e o difusor pode ser feito com tantos períodos quantos se queira, todos obedecendo à mesma sequência numérica.

Ou ainda, usando sequências diferentes.

A figura 3.103 mostra o corte transversal de um difusor QRD.

A figura 3.104 é a foto de um desses difusores, entre alguns projetados e instalados pelo autor.

No caso dessa figura a foto é das instalações de um estúdio desenhado pelo autor e implementado na cidade de São Paulo.

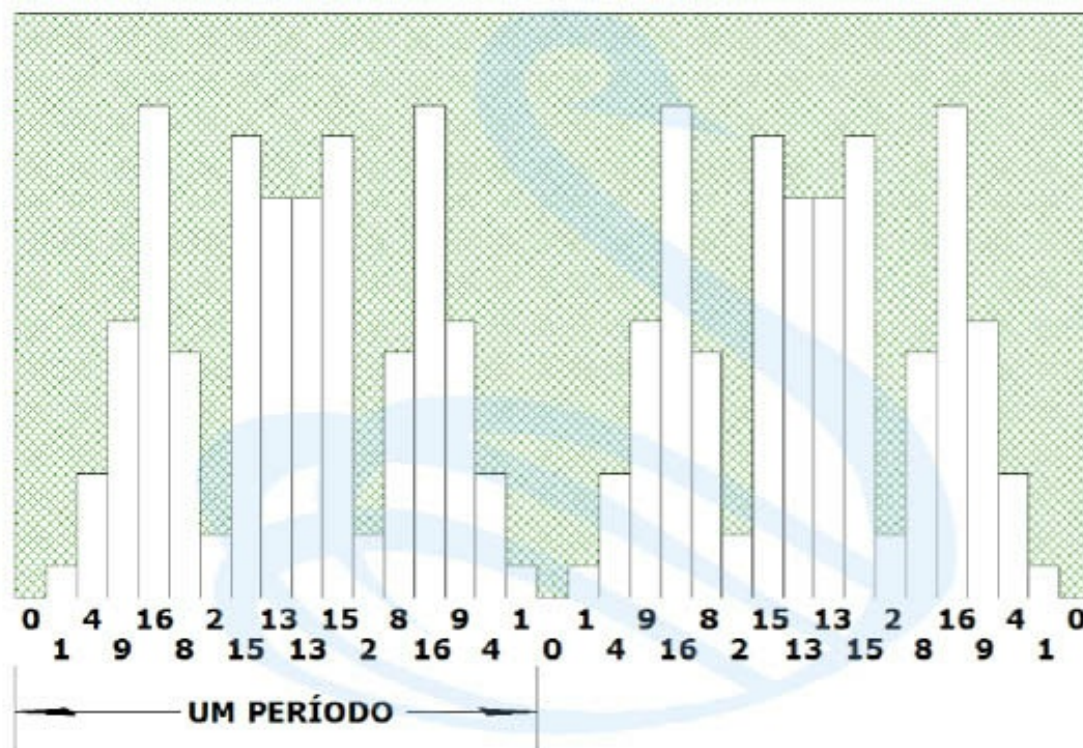


Figura 3.103 corte transversal de um difusor QRD
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O tamanho de qualquer difusor QRD depende apenas da frequência inferior que tivermos escolhido.

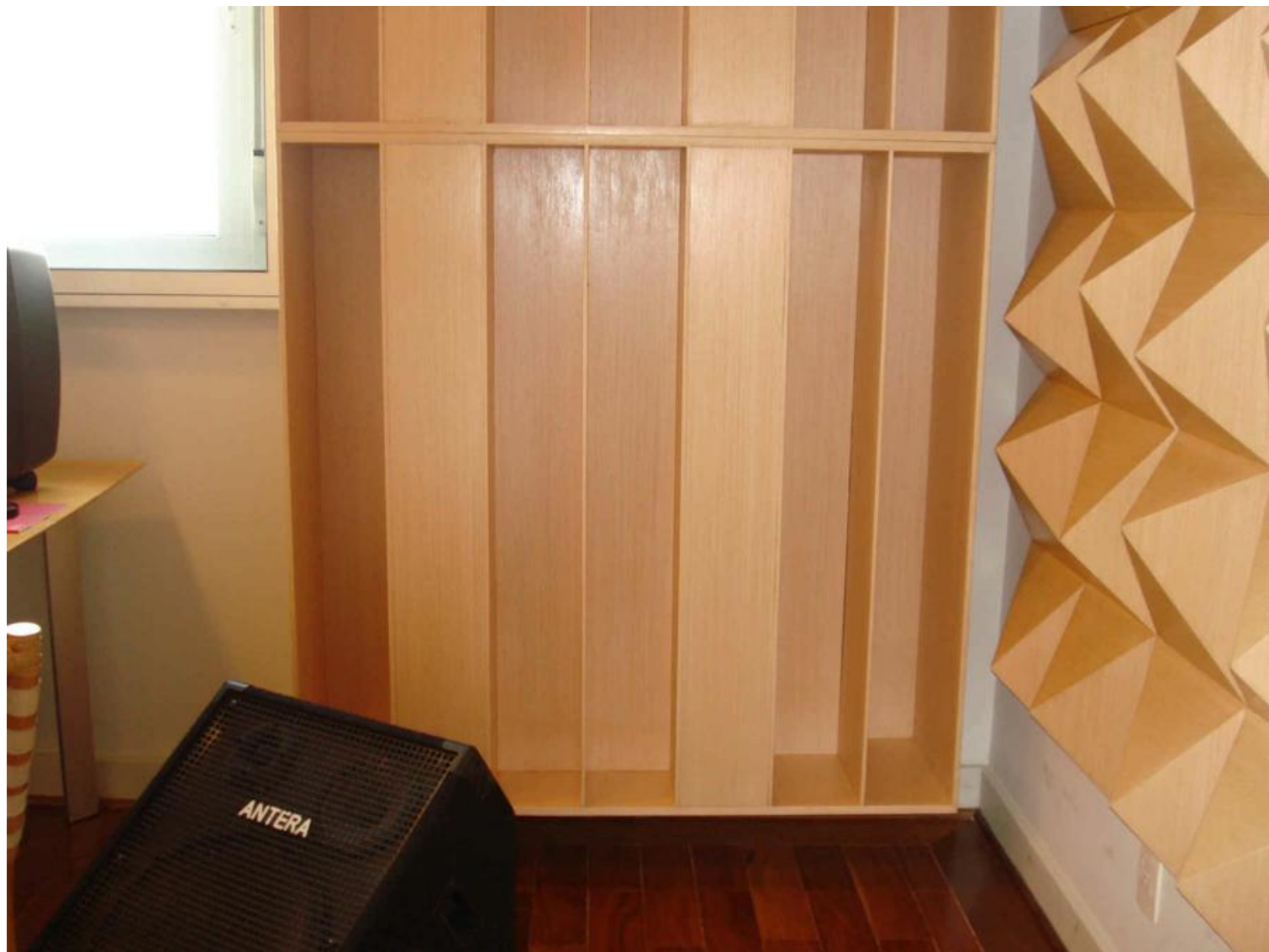


figura 3.104 aspecto de difusores QRD projetados e instalados pelo autor em estúdio residencial acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Por exemplo, se estabelecermos 250 Hz como a frequência operacional mais baixa que queremos difundir de forma não especular, sabemos que podemos obter o mesmo efeito por uma banda que se estende por 4 oitavas. Portanto, chegando aos 4 kHz.

A largura dos sulcos deve ser igual a 1/2 comprimento de onda da frequência operacional mais elevada. No caso de nosso exemplo, com frequência mais elevada igual a 4 kHz, temos

$$\lambda = \frac{344m/s}{4.000Hz} = 0,086m. \therefore \frac{\lambda}{2} = 4,3cm$$

E a profundidade dos sulcos mais profundos será igual a 1/2 comprimento de onda da frequência operacional mais baixa, ou 250 Hz. Assim,

$$\lambda = \frac{344m/s}{250Hz} \cong 1,38m. \therefore \frac{\lambda}{2} \cong 69cm$$

Naturalmente os difusores QRD podem ser projetados para quaisquer frequências desejadas, inclusive as muito baixas.

Para cada comprimento de onda de som incidente num difusor QRD, as direções de

difração podem ser determinadas com acuidade pela expressão:

$$\text{seno } \alpha_d = \frac{n\lambda}{NW} - \text{seno } \alpha_i \quad (3.39)$$

onde

* θ é o ângulo de incidência * n é a ordem de difração * λ é o comprimento de onda do som incidente * N é a quantidade de sulcos por período, e * d_h é a largura de cada sulco. Analisando a expressão 3.39 vemos que quanto maior é o produto $N\lambda$, mais serão os lóbulos de difração, e melhor a difusão obtida.

As intensidades do som difratado em cada direção também podem ser calculadas. Basta que se calcule a transformada de Fourier do fator de reflexão. Mas como esse fator é uma função da sequência de profundidades, ou fases num período, podemos simplificar isso para

$$r_h = \exp\left(-2\pi i \frac{d_h}{\lambda}\right) \quad (3.40)$$

Esta expressão nos informa que quanto maior for a quantidade de períodos, mais energia tenderá a se concentrar na direção de difração.

A largura dos sulcos nos difusores QRD também pode ser calculada por

$$d_h = h^2_{\text{mod } N} \frac{\lambda}{2N} \quad (3.41)$$

Esta expressão é válida para difusores unidimensionais, como os que vimos até agora. Mas uma das coisas mais fascinantes com os difusores QRD é que, além disso, eles também podem ser projetados para serem bidimensionais. Para estes, a largura do sulco fica

$$d_{h,k} = \left\{ h^2 + k^2 \right\}_{\text{mod } N} \frac{\lambda}{2N} \quad (3.42)$$

As expressões 3.41 e 3.42 estão baseadas na teoria matemática da sequência de números, que tem uma propriedade única. É que a transformada de Fourier de uma sequência de valores exponenciados tem magnitude constante nas direções de difração. Assim, na expressão 3.41, N representa a quantidade de sulcos para difusores unidimensionais, porquanto na expressão 3.42, h e k representam os sulcos nas duas direções ortogonais de difusores bidimensionais.

Difusores QRD, mono ou bidimensionais, se comportam como difusores ideais. As irregularidades naturais de suas superfícies favorecem a distribuição temporal dos sons difratados, e acentuam o ângulo total de difração de cada peça.

Vale observar que, para a banda de atuação do difusor QRD, as propriedades de difusão não dependem do ângulo de incidência, nem tampouco da frequência do som que incide.

Para que você tenha uma ideia melhor de como aplicar esses dispositivos, vou resumir as propriedades básicas de difusores uni e bidirecionais.

O QRD unidimensional difrata os sons num hemidisco. Este pode ser sempre convenientemente ajustado, orientando-se o difusor, a fonte de som, ou ambos. A energia acústica difratada, como observada no campo remoto, é proporcional a $1/N$, sendo N a quantidade de sulcos por período.

O QRD bidimensional difunde o som num hemisfério. Neste caso, a energia acústica difratada é proporcional a $1/$. Assim, seus valores são aproximadamente a metade (em decibels) do que os valores correspondentes à energia difratada pelos QRD's unidimensionais.

Testes auditivos extensivos realizados em todo o mundo mostram que os difusores unidimensionais apresentam grau aceitável de controle da energia difratada, especialmente quando são corretamente orientados no espaço.

Os QRD's bidimensionais mostram-se muito úteis em recintos nos quais se deseja controle eficiente de difusão em baixas frequências. Isso é relativamente fácil obter a partir do padrão onidirecional de difração próprio dos QRD's bidimensionais, e de seu fator de atenuação, $1/$.

A profundidade máxima de qualquer QRD bidimensional é $1/2$.

Difusores bidirecionais de banda muito ampla, trabalhando a difusão de médias e de altas frequências, são extremamente úteis quando se quer campo difuso atenuado, ou controle de difração de elevados níveis de pressão sonora.



figura 3.105 difusor QRD unidimensional projetado pelo autor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

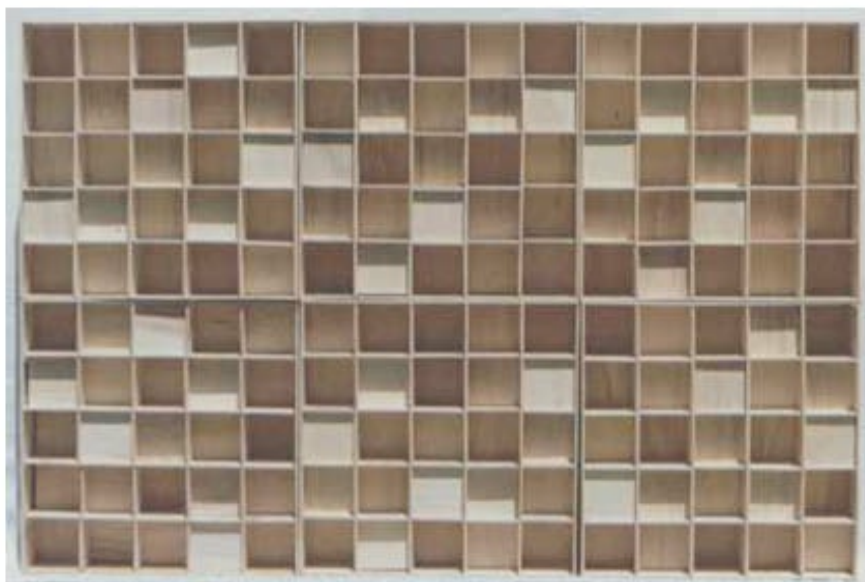


figura 3.106 difusor QRD bidimensional projetado pelo autor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
As figuras 3.105 e 3.106 ilustram difusores QRD calculados e construídos pelo autor. Na figura 3.105 o difusor é unidimensional. Na figura 3.106 ele é do gênero bidimensional.

O difusor da figura 3.107 também é um QRD bidimensional. Entretanto, porque ele é do gênero “avesso”, e não apresenta as divisões entre os “sulcos”, é chamado de QRD bidimensional macho.

Recentemente estive nos Estados Unidos conversando com O Dr. Peter D’Antonio sobre esse assunto. O Dr. D’Antonio é o proprietário da RPG Diffusor Systems, Inc., uma empresa singular, que se especializou naquele país na construção e comercialização de difusores baseados nas teorias vencedoras do Dr. Schroeder. Atualmente, a RPG produz e vende mais de 18 tipos diferentes de difusores, todos com suas marcas registradas.

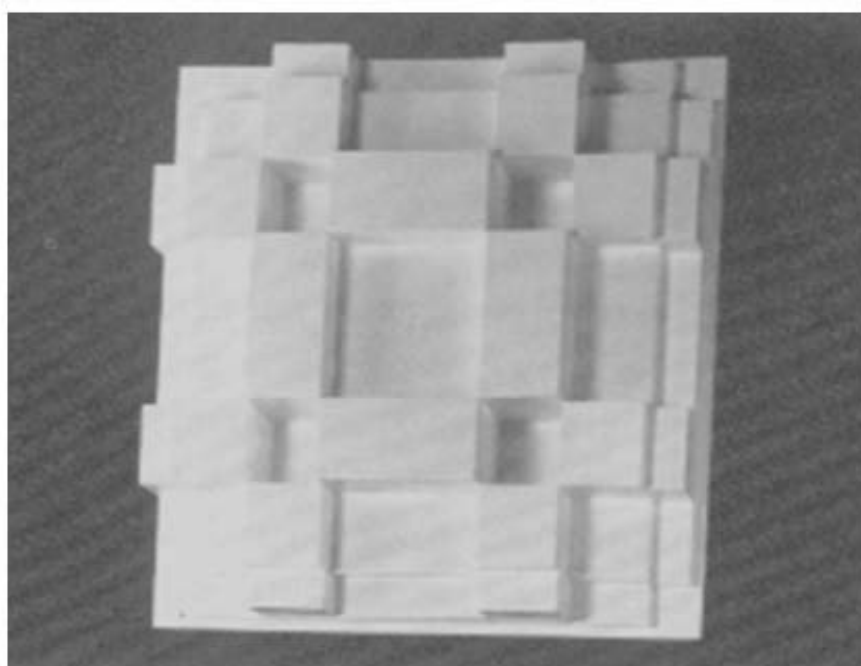


figura 3.107 difusor QRD bidimensional macho cortesia Dr. Peter D’Antonio As cifras comercializadas pela RPG que o Dr. D’Antonio informa me permite dizer que atualmente esses difusores não só estão na moda, mas são utilizados desde ginásios de escolas até estúdios de gravação de primeiríssima linha. E a lista de clientes da RPG é realmente de dar água na boca. Mesmo para empresas norte-americanas.

3.18.2.4 Similaridade Própria, Invariabilidade, Dimensão Fractal e Difusores Fractais
Similaridade Própria é a invariabilidade que independe de escala ou tamanhos. São atributos de inúmeras leis naturais, e de diversos fenômenos, dos quais somos testemunhas todos os dias.

Pense numa reta infinita. Seus atributos serão invariáveis com qualquer tamanho ou escala. E essa é a ideia central do conceito.

Inúmeras estruturas podem ser progressivamente divididas, ou fracionadas, e ainda conservar as propriedades do todo. Devemos o uso comum do termo **Fractal** a Benoit B. Mandelbrot, que assim classificou partes fracionadas de um todo.

Uma ocasião, Mandelbrot fez a alguns cavalheiros, todos físicos, a seguinte pergunta “qual é a extensão da costa britânica? “ Ao ouvir alguns números diferentes entre si, ele ponderou “bem, temos certeza que ela não pode ser menor do que a distância medida em linha reta entre suas extremidades. Mas sendo esta costa muito irregular, como fazer para medi-la? “

É evidente que a medida em linha reta traz um erro colossal, por desconsiderar os desenhos caprichosamente elaborados pela natureza. Então, deve parecer claro que é preciso fracionar a costa em partes menores, medir cada fração, e acumular as medições. Mais claro ainda deve parecer que o resultado da medição será tão maior e mais verdadeiro quanto mais fracionada for a costa.

Na física, chama-se intervalo de medição (δ) a quantidade de frações em que se divide o todo.

Se a extensão total é chamada L, podemos escrever

$$L(\delta) = \delta \cdot N(\delta) \quad (3.43)$$

Se formos plotar um resultado desse tipo, usando δ como coordenadas, obteremos uma reta, com certa angulação em relação à horizontal. A particular angulação dependerá apenas de δ e de L.

Por outro lado, o resultado medido pode ser bastante aproximado pela expressão

$$L(\delta) = a\delta^{1-D} \quad (3.44)$$

Ou para uma plotagem log-log

$$\ln L(\delta) = (1-D)\ln(\delta) + \ln a \quad (3.45)$$

O termo $1-D$ representa a angulação em relação à horizontal. E D é chamada Dimensão

Fractal.

Quem quiser pesquisar toda esta teoria mais a fundo, encontrará o caminho certo nos livros Elements of Number Theory, de I. M. Vinogradov, publicado pela Dover Publications, Inc., 180 Varick St, Nova Iorque, NY, USA, 10014, e Numerical Methods for Scientists and Engineers, de Richard W. Hamming, publicado pela McGraw-Hill. Estes livros não são citados na bibliografia, já que sua utilização fica restrita aos que pretendem desenvolver raciocínio no campo da matemática avançada.

Enfim, todos esses conceitos e teorias foram extremamente úteis durante os estudos e desenvolvimento dos difusores fractais, também elaborados em profundidade pelo Dr. Manfred Schroeder.

Os difusores fractais são difusores de baixas frequências, dentro dos quais estão difusores de médias e de altas frequências, tudo combinado numa só peça. Num exemplo claro da teoria citada.

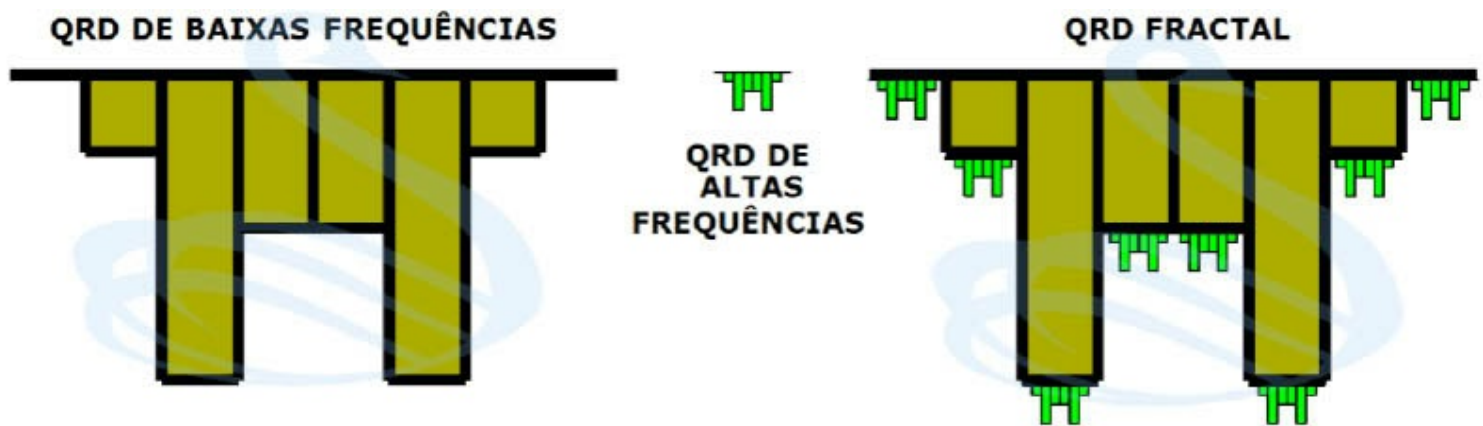


figura 3.108 difusor Fractal acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 3.108 ilustra a ideia básica. Na parte esquerda vemos um difusor QRD unidimensional, convencional. Na figura do meio vemos sua cópia miniaturizada. A largura desta é tal que ela se encaixa perfeitamente em qualquer das ranhuras do difusor maior. A figura da direita mostra o difusor QRD unidimensional, sendo que em cada uma das suas ranhuras há agora uma réplica menor do difusor completo.

Este é conjunto QRD Fractal.

Como os difusores QRD, estes também podem ser desenhados uni e bidimensionais.

Para os unidimensionais aplica-se a seguinte expressão:

$$d_h = \frac{h}{N}^2 \frac{\lambda_M}{2M} + (h_{\text{mod } M})^2_{\text{mod } N} \frac{2\lambda}{2N} \quad (3.46)$$

Para difusores fractais bidimensionais a expressão torna-se

$$d_{h,k} = \frac{h}{N}^2 + \frac{k}{N}^2 \frac{\lambda_M}{2M} + \left[(h_{\text{mod } M})^2_{\text{mod } N} + (k_{\text{mod } M})^2_{\text{mod } N} \right] \frac{\lambda_N}{2N} \quad (3.47)$$

Nas expressões 3.46 e 3.47, os significados dos termos são * M é o número primo do difusor de baixas frequências * N é o número primo do difusor de altas frequências * h, k são

os números de sulcos fractais * é o comprimento de onda de projeto do difusor de baixas frequências * é o comprimento de onda de projeto do difusor de altas frequências * é a profundidade total dos sulcos h As figuras 3.109 e 3.110 ilustram aplicações práticas dos difusores fractais.



figura 3.109 difusores fractais unidimensionais instalados na parede do fundo do palco do auditório da diretoria executiva do Banco Bradesco, Cidade de Deus, Osasco, São Paulo – projeto dos difusores e do auditório do autor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 3.110 difusores fractais bidimensionais instalados nas paredes laterais e externas do auditório da diretoria executiva do Banco Bradesco, Cidade de Deus, Osasco, São Paulo – projeto dos difusores e do auditório do autor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

3.18.2.5 Meu Difusor Experimental
Quem lida com acústica sabe que muitas das soluções que descobrimos dependem quase que única e exclusivamente de termos a felicidade de encontrar meios de associar princípios da física às condições dos problemas. Quando isso ocorre podemos empregar tais soluções em quaisquer outros casos semelhantes que possam surgir.

O ruim disso é que, quando as soluções são de fato inusitadas, e não constam de livros, acabamos quase que proprietários daquela maneira de resolver o problema. Ou seja, ela não pode servir a mais ninguém. A menos que passemos a informação adiante.

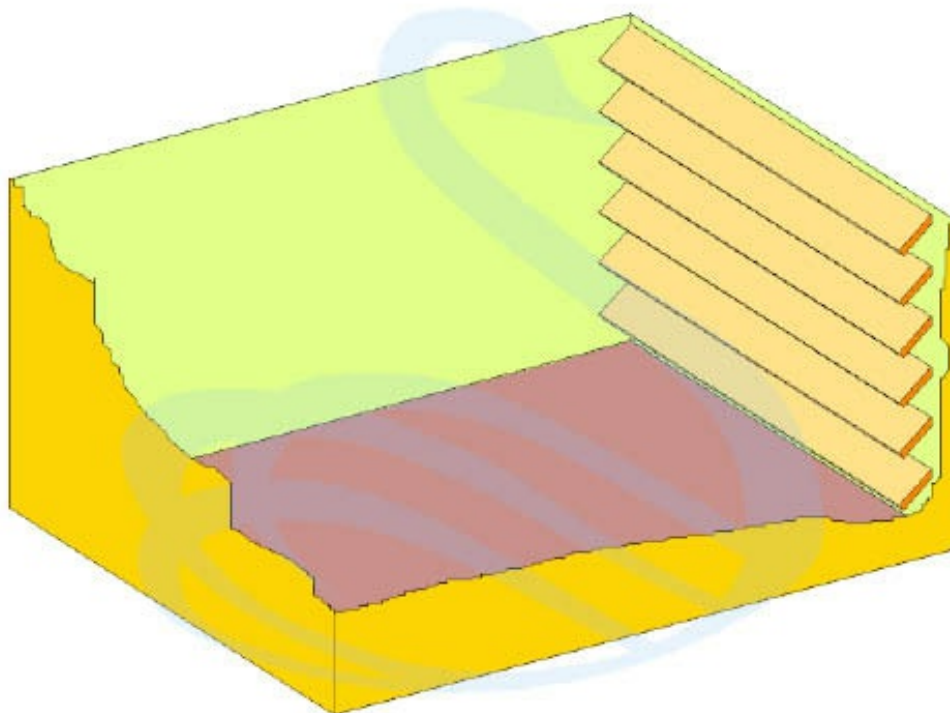


**figura 3.111 aspecto de meu difusor experimental, desenhado no final dos anos 80
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Creio que este é o lugar ideal para relatar uma dessas
experiências, que por sinal, trouxe um resultado surpreendentemente bom.**

Há muitos anos fui consultado por um cliente com sérios problemas de ondas estacionárias num dado ambiente fechado. Ao mesmo tempo, como o tempo de reverberação era excessivo, também era preciso absorver parcela ponderável de energia. Todas as alternativas que imaginei para resolver o caso de vez não podiam ser implantadas por um ou por outro motivo. Me dizia o cliente.

Depois de muito conversar com qualquer cliente, temos uma noção do que pode vir a ser aceito e do que não. Até que num belo dia acordei com uma ideia que, sabia, seria aceitável para o local. Então marquei uma reunião. Para a qual fui munido de alguns cálculos preliminares, e de poucos desenhos que preparei para dar uma noção física de como seria o resultado visual. Em menos de meia hora de reunião obtive aprovação para ir em frente.

Minha ideia foi dispor algumas pranchas inclinadas em duas das quatro paredes existentes no local, como ilustra a figura 3.111.

Mesmo lidando com reflexões especulares, seria possível obter acentuado efeito de difusão inclinando com ângulos diferentes cada prancha.

Trabalhei com profundidades diferentes, e inclinações que podiam ser individualmente ajustadas para obtenção de diferentes padrões de reflexão.

Simultaneamente, usando materiais diferentes, era possível empregar pranchas com diferentes coeficientes de absorção, de modo a obter exatamente o montante de absorção desejado. Nada mais, nada menos.

Parte do som incidente em cada prancha seria absorvido. Outra parte seria refletida

diretamente para a sala, mas com direção controlada. O controle seria determinado facilmente pela inclinação das pranchas. E como era fácil alterar as inclinações, o controle era absolutamente flexível.

A parte do som não refletida de volta para a sala, seria refletida pela prancha em questão, e a seguir dirigida para a faces inferior da prancha imediatamente acima desta.

Esta nova parcela se dividiria em outras duas. Uma absorvida pela prancha de cima, e outra refletida. Parte desta última reflexão deveria voltar para a sala com ângulo diferente do de incidência, e ainda, em momento posterior ao que seria o de uma reflexão especular. Novamente, as direções dessas parcelas refletidas para a sala após algumas reflexões nas pranchas, também poderiam ser controladas pelas inclinações das pranchas, e suas intensidades controladas pelo material utilizado na confecção das pranchas. Ou o que fosse a elas aplicado.

O resultado final me pareceu tão bom, e foi tão apreciado pelo cliente que, mesmo sem poder, dediquei um tempo enorme para aprimorar a técnica.

Que cheguei a usar em alguns outros lugares, sempre com bons resultados. Mas sempre de maneira empírica.

Chequei até mesmo a pensar em desenvolvê-la com critérios mais técnicos e mais profundos. Mas nunca tive o tempo ou a oportunidade para fazê-lo. Assim, apenas aos poucos vou colhendo informações e aprimorando como posso ao que batizei de Multidifusor.

3.18.2.6 Outros Difusores Naturalmente estamos muito longe de esgotar o assunto difusores.

A cada dia surgem novas formas e modelos de produtos comerciais e experimentais. Uma rápida folheada nas revistas de acústica, e nas especializadas em estúdios, mostrará a variedade e a riqueza de dispositivos e de possibilidades.

Mas estou certo de que vimos o que há de mais importante para nosso trabalho com eletroacústica. Então vamos para a parte prática.

3.19 A ANATOMIA DO TRATAMENTO ACÚSTICO

Desde o início deste capítulo, até aqui, estivemos discutindo alguns aspectos conceituais do som, e princípios fundamentais da acústica. Agora vamos dar uma guinada, e com base no que vimos, discutir o que de fato nos interessa. Que é a aplicação da acústica arquitetônica à engenharia de áudio.

Como o próprio nome sugere, estamos diante de uma disciplina dupla, na qual os resultados desejados são obtidos em função de uma combinação das técnicas de acústica com as de arquitetura.

Do ponto de vista eletroacústico, os dois principais objetivos que sempre perseguimos num ambiente fechado qualquer são a obtenção de um baixo NRA, necessariamente compatível com as atividades às quais o local se destina, e a obtenção do controle do comportamento acústico interno.

O primeiro objetivo é denominado controle de ruído interno. E o segundo controle do comportamento acústico interno. Ambos são discutidos a seguir.

O tratamento acústico de um local fechado, invariavelmente conduzido de acordo com as técnicas da acústica arquitetônica, é um dos instrumentos mais eficazes para garantir o sucesso operacional de qualquer sistema eletroacústico.

Entre muitos outros ingredientes, para que uma sala tenha boas propriedades acústicas, os seguintes requisitos são essenciais: silêncio interior, boa distribuição de campo acústico, controle do tempo de reverberação, e controle do ITDG.

3.19.1 Pensando Antecipadamente na Homogeneidade de Campo Acústico 3.19.1.1 Formas Físicas Uma coisa é estarmos lidando com uma sala existente, com suas formas físicas já definidas. Outra, bem diferente, é estarmos trabalhando um espaço a ser construído, com liberdade de definir seus contornos, formas físicas e geométricas. Além de seus materiais de acabamento.

Como essas duas coisas acontecem com frequência, devemos estar preparados para ambas.

formas retangulares e proporções das salas Tanto quanto possível devem ser evitadas paredes paralelas, superfícies planas, côncavas, e nichos.

Paredes paralelas podem ser facilmente eliminadas se ao invés de serem construídas absolutamente verticais, tiverem pequenas inclinações. Tipicamente de 3 a 6 graus. Isso geralmente é fácil para salas a construir, mas mais difícil em locais já construídos.

Por várias razões, principalmente pela econômica, proliferam as construções com formato “caixa de sapato”.

Quando estamos diante de um caso desses, já podemos avaliar o grau de dificuldade pelas proporções do local. Por exemplo, acusticamente falando, uma sala com 10,0 metros x 5,0 metros, com altura de 5,0 metros é uma verdadeira catástrofe.

Sem possibilidade de demolir as paredes para construí-las inclinadas, é preciso encontrar meios de quebrar os paralelismos. Felizmente, podemos fazer isso de muitas e muitas maneiras. Vejamos algumas.

A mais simples delas é aplicando difusores nas superfícies internas. Que podem ser quaisquer deles.

A figura 3.112 mostra a vista superior de uma sala retangular, na qual foram aplicados

difusores policilíndricos.

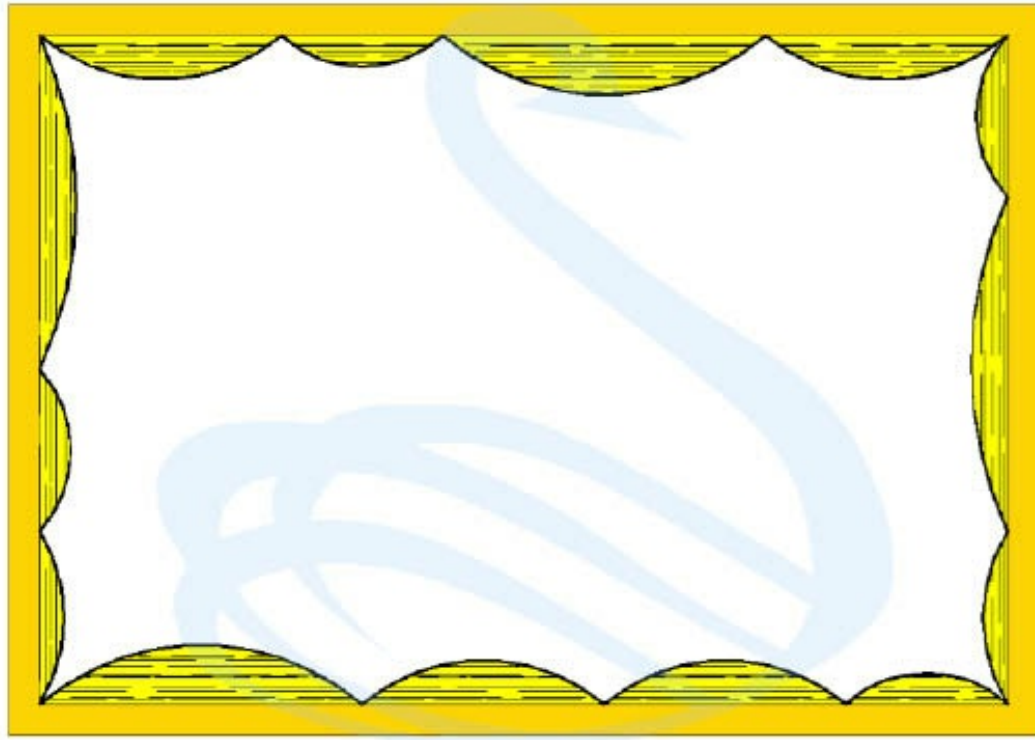


figura 3.112 vista superior de uma sala mostrando a aplicação de difusores policilíndricos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra maneira é construir paredes “postiças” junto às existentes, com formatos irregulares, por exemplo em forma de dentes de serra. Dependendo do material que venha a ser utilizado, esta obra pode ser consideravelmente econômica. A grande desvantagem é a perda de espaço.

Nos casos de cinemas, teatros, auditórios e alguns outros, o piso pode ser construído com degraus sucessivos. Os forros podem ser construídos com inclinação, já incluindo, por exemplo, diversas aplicações em forma de pirâmides invertidas, e inúmeras outras, desenhadas para evitar o paralelismo.

Quando as salas são construídas com paredes paralelas, suas proporções se constituem no mais importante fator determinante do padrão de formação de ondas estacionárias.

Ao que vale dizer, é possível estabelecer as proporções das salas para minimizar o efeito das ondas estacionárias, cujos resultados deletérios foram analisados anteriormente. A ideia é utilizar proporções tais que a distribuição das ondas estacionárias seja a menos inconveniente possível.

A antiga civilização grega estudou todos estes fenômenos, e chegou a indicar a construção de salas com proporções que denominaram “relação áurea”, que é $0,62 : 1 : 1,62$.

Quando os estúdios de broadcasting e de gravação começaram a ser construídos, vários pesquisadores começaram suas investigações para determinar quais eram as proporções mais indicadas para as salas. Trabalhando com princípios da teoria da acústica das ondas, e processando cálculos matemáticos em graus variáveis de dificuldade, eles propuseram centenas de proporções, considerando-as sempre as melhores.

A tabela 3.6 resume algumas dessas proporções, julgadas ideais pelos respectivos

pesquisadores que as indicaram.

tabela 3.6

AUTOR	ALTURA	LARGURA	COMPRIMENTO
Sepmeyer	1,00	1,14	1,39
Sepmeyer	1,00	1,28	1,54
Sepmeyer	1,00	1,60	2,33
Louden	1,00	1,40	1,90
Louden	1,00	1,30	1,90
Louden	1,00	1,50	2,10
Volkmann	1,00	1,50	2,50
Boner	1,00	1,26	1,59

Mas nosso objetivo agora é aprofundar um pouco mais nas ondas estacionárias, visando saber como exercer controle sobre elas.

Vimos que os modos axiais são os que mais nos incomodam. Assim, vamos concentrar nosso trabalho neles.

Em 1.896 Rayleigh mostrou que o ar enclausurado numa sala retangular apresentava infinitos modos axiais de vibração.

A fórmula proposta para calcular as correspondentes frequências é:

$$F = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{x^2}{L^2} + \frac{y^2}{A^2} + \frac{z^2}{P^2}} \quad (3.48)$$

onde

* F é a frequência, em Hz * v é a velocidade do som em metros/segundo * x , y e z são números inteiros, que podem variar de 0 ao ∞ , * e L , A e P são a largura, a altura e a profundidade da sala, em metros Dadas as proporções de uma sala qualquer, substituímos os valores reais em L , A e P , atribuímos valores a x , y e z , e fazemos nossas contas. Observe que se atribuírmos um valor unitário, e dois valores nulos a x , y e z , nossa fórmula passa a ser semelhante à expressão 3.12.

Usualmente esses cálculos são feitos por computador, rodando programas específicos para acústica, ou para eletroacústica.

Mas se você não dispõe do computador, ou do programa, não se preocupe. É possível fazer uma análise de certa profundidade, à mão.

Vamos lá?

Então vamos tomar uma sala qualquer como exemplo. Suas dimensões: 6,0m x 3,5m x 10,0m ($L \times A \times P$).

A primeira coisa a fazer é calcular os modos naturais de ressonância das fundamentais.

Para a largura, temos $F_0 = 344 / (2 \times 6) = 28,67$ Hz.

Para a altura, $F_0 = 344 / (2 \times 3,5) = 49,14$ Hz, e para a profundidade, $F_0 = 344 / (2 \times 10) = 17,20$ Hz.

A seguir, monte os dados como na tabela 3.7, preenchendo os valores das harmônicas.

tabela 3.7

MODOS AXIAIS			
	L	A	P
F ₀	28,67	49,14	17,20
2.F ₀	57,34	98,28	34,40
3.F ₀	86,01	147,42	51,60
4.F ₀	114,68	196,56	68,80
5.F ₀	143,35	245,70	86,00
6.F ₀	172,02	294,84	103,20
7.F ₀	200,69		120,40
8.F ₀	229,36		137,60
9.F ₀	258,03		154,80
10.F ₀	286,70		172,00
11.F ₀	315,37		189,20
12.F ₀			206,40
13.F ₀			223,60
14.F ₀			240,80
15.F ₀			258,00
16.F ₀			275,20
17.F ₀			292,40
18.F ₀			309,60

Certamente você reparou que nos limitamos a 300 Hz.

O que fizemos porque, acima dessa frequência, e para salas pequenas, há uma quantidade muito grande de modos. Quando isso ocorre, os espaçamentos entre modos são tão pequenos que eles praticamente se fundem numa coisa só.

Nosso próximo passo é organizar todos os modos calculados em ordem crescente, e calcular os espaçamentos entre eles. Basta subtrair o de cima do de baixo. Como mostra a tabela 3.8.

tabela 3.8

MODOS	DIFERENÇAS
17,20	-
28,67	11,47
34,40	5,73
49,14	14,74
51,60	2,46
57,34	5,74
68,80	11,46
86,00	17,40
86,01	0,01
98,28	12,27
103,20	4,92
114,68	11,48
120,40	5,72
137,60	17,20
143,35	5,75
147,42	4,07
154,80	7,38
172,00	17,20
172,02	0,02
189,20	17,18
196,56	7,36
200,69	4,13
206,40	5,71
223,60	17,20
229,36	5,76
240,80	11,44
245,70	4,90
258,00	12,30
258,03	0,03
275,20	17,17
286,70	11,50
292,40	5,7
294,84	2,44
309,60	14,76
315,37	5,77

Nosso objetivo é inspecionar os espaçamentos existentes entre os modos. Ou seja, avaliar os números da coluna da direita da tabela 3.8.

Quando qualquer espaçamento entre modos for superior a 20 Hz, podemos esperar por alguns problemas, mais especificamente por “buracos”, ou isolamento acústica, que é o nome técnico do efeito sônico resultante.

Por outro lado, quando dois ou mais modos estão muito próximos, as chances são de que hajam lugares nos quais essas mesmas frequências sejam ouvidas com nível acima das demais. É o que ocorre em nosso caso na frequência de 50 Hz, e com mais ênfase ainda nas frequências de 86, 172 e 258 Hz. Que estão relacionadas em proporções harmônicas, ou quase.

Sabedores de que frequências poderão nos causar problemas, devemos estar preparados para medidas corretivas. As duas tecnicamente mais indicadas são a quebra de paralelismo entre as paredes, e o uso de difusores. Alternativamente poderemos pensar na utilização de painéis sintonizados nas frequências que sabemos, serão reforçadas.

Vale notar que se esses mesmos cálculos forem feitos para salas com duas dimensões iguais, as coincidências serão inúmeras, e as soluções correspondentemente mais difíceis. Para salas com as três dimensões iguais, ou seja, salas cúbicas, o problema provavelmente não terá solução sem quebra drástica de paralelismo, e/ou uso abundante de difusores especiais. Razões suficientes para não se usar salas com duas dimensões iguais, e menos ainda salas cúbicas.

formas irregulares

Formas irregulares são preferidas, porque invariavelmente propiciam melhores resultados acústicos. A forma característica dos teatros de ópera ainda é intrigante para muitos.

A ópera surgiu na Europa em 1.597, e logo se tornou muito popular. Clamando por espaços que pudessem comportar público consideravelmente elevado para a época.

A forma de apresentação, que também era uma tentativa de reviver os antigos dramas gregos, se caracterizava essencialmente pela mescla de ação em palco com música.

A orquestra tinha seu lugar reservado, o pit. Trata-se de uma pequena vala correndo ao longo de toda a extensão frontal do palco.

Como na ocasião ainda não existia amplificação eletrônica, nenhum espectador podia ficar muito afastado do palco. O leiaute de uma típica casa de ópera tem forma de ferradura, circundada por quatro ou cinco pavimentos de camarotes alojados nas partes laterais e traseira das casas. Esse resultado veio numa evolução rápida e natural para acomodar um público relativamente grande, como exigido para a época. E é essa forma que tem sido preservada através dos séculos.

figura 3.113 elevações e aspectos de teatros modernos Acima Flint Center, Cupertino, Califórnia, USA, consultor Bolt Beranek & Newman Abaixo Hellman Hall, San Francisco, Califórnia, consultor Wilson, Ihrig & Associates, Inc.

cortesia Acoustical Society of America A figura 3.113 mostra formas físicas de projetos modernos de ambientes fechados, nos quais as formas físicas são tão valorizadas quanto exigem as técnicas modernas.

Há vários documentos que resumem pesquisas e estudos sérios e prolongados, enfatizando

que ornamentos, móveis com peças torneadas e perfurações, trabalhos em madeira e metal, e objetos de modo geral dispostos nas salas ajudam bastante a distribuir a energia.

Estudos específicos feitos com protuberâncias existentes nas paredes mostram que os efeitos assim obtidos são sempre acusticamente positivos. Os estudos incluíram protuberâncias cilíndricas, triangulares e retangulares. Com vantagens para estas últimas. Baseada em suas pesquisas, a BBC inglesa reporta as excelentes propriedades acústicas subjetivas verificadas em estúdios e grandes salas de música equipadas com muitos adornos retangulares com formatos de arcas decorativas.

3.19.2 Controle do Nível de Ruído Interno Se queremos um ambiente silencioso, devemos saber o que combater. Que são as principais fontes que produzem ruído dentro do ambiente fechado.

Já vimos que os ruídos atingem o interior dos recintos por transmissão aérea, por transmissão de efeito diafragmático e por transmissão de estruturas sólidas.

Além disso, precisamos estar preparados para lidar com as fontes internas de ruído, a exemplo dos condicionadores de ar e ventiladores.

Para evitar a transmissão aérea de ruídos, nosso ambiente deve ser construído com paredes, piso e teto.

E as portas e janelas devem ser tão herméticas quanto possível. Quaisquer pontos de acesso devem ser pesquisados, e os riscos eliminados.

Isto se aplica a grelhas de ventilação, caminhos criados por dutos de ar condicionado, e assim por diante.

Para evitar a transmissão por efeito diafragmático se empregam paredes espessas ou estruturas especiais, além de portas e janelas com perdas de transmissão semelhantes aos das estruturas construtivas.

A transmissão dos sons por estruturas sólidas requer análises específicas e soluções diretas.

A seguir veremos cada um desses tópicos com mais detalhes.

3.19.2.1 Paredes

Para determinar que paredes, pisos e tetos vamos construir, precisamos antes de dois dados. O primeiro, que é o máximo NRA suportável.

Se tivermos dificuldade com isso, usamos as figuras discutidas no item Critérios de Ruídos (NC).

A seguir, medimos o nível de ruído externo. E por diferença sabemos o quanto precisamos

atenuar.

Esse mesmo valor é o que queremos ter como perda de transmissão de nossas paredes, piso, teto, portas e janelas.

Portanto, a escolha é rigorosamente técnica, e não uma tentativa.

As perdas de transmissão das estruturas podem ser pesquisadas diretamente nas muitas e muitas tabelas que reúnem esses dados.

Em grandes locais, com os teatros municipais das grandes metrópoles, é usado um artifício bastante eficaz.

Circundando toda a sala principal há um corredor largo, de modo que a sala é separada do exterior por duas paredes, entre as quais fica o corredor.

Dessa forma, o ruído externo inicialmente terá que superar a perda de transmissão da parede mais externa, e a seguir, a da parede interna.

Com essa técnica, nenhuma das duas paredes precisa de uma perda de transmissão excessivamente elevada, já que há uma combinação das perdas de ambas.

3.19.2.2 Portas e Janelas Suponha que alguém tenha dedicado todo o tempo necessário para calcular elevadas perdas de transmissão, digamos STC-70, para as paredes, piso e forro de um recinto.

Que a seguir fosse receber portas e janelas da variedade doméstica, com suas costumeiras transparências acústicas.

Ou quase isso.



figura 3.114 hall do tipo dique acústico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O resultado seria exatamente o mesmo que tivéssemos construído quaisquer paredes com baixas perdas de transmissão.

Dessa maneira, é imperativo que portas e janelas tenham figuras STC equivalentes às das paredes, piso e forro.

Tudo o que vimos para as superfícies em geral também é aplicável às portas e janelas. Entretanto, portas e janelas convencionais geralmente apresentam perdas de transmissão tão reduzidas que o problema deve ser estabelecido de forma diferente do que se faz com as paredes.

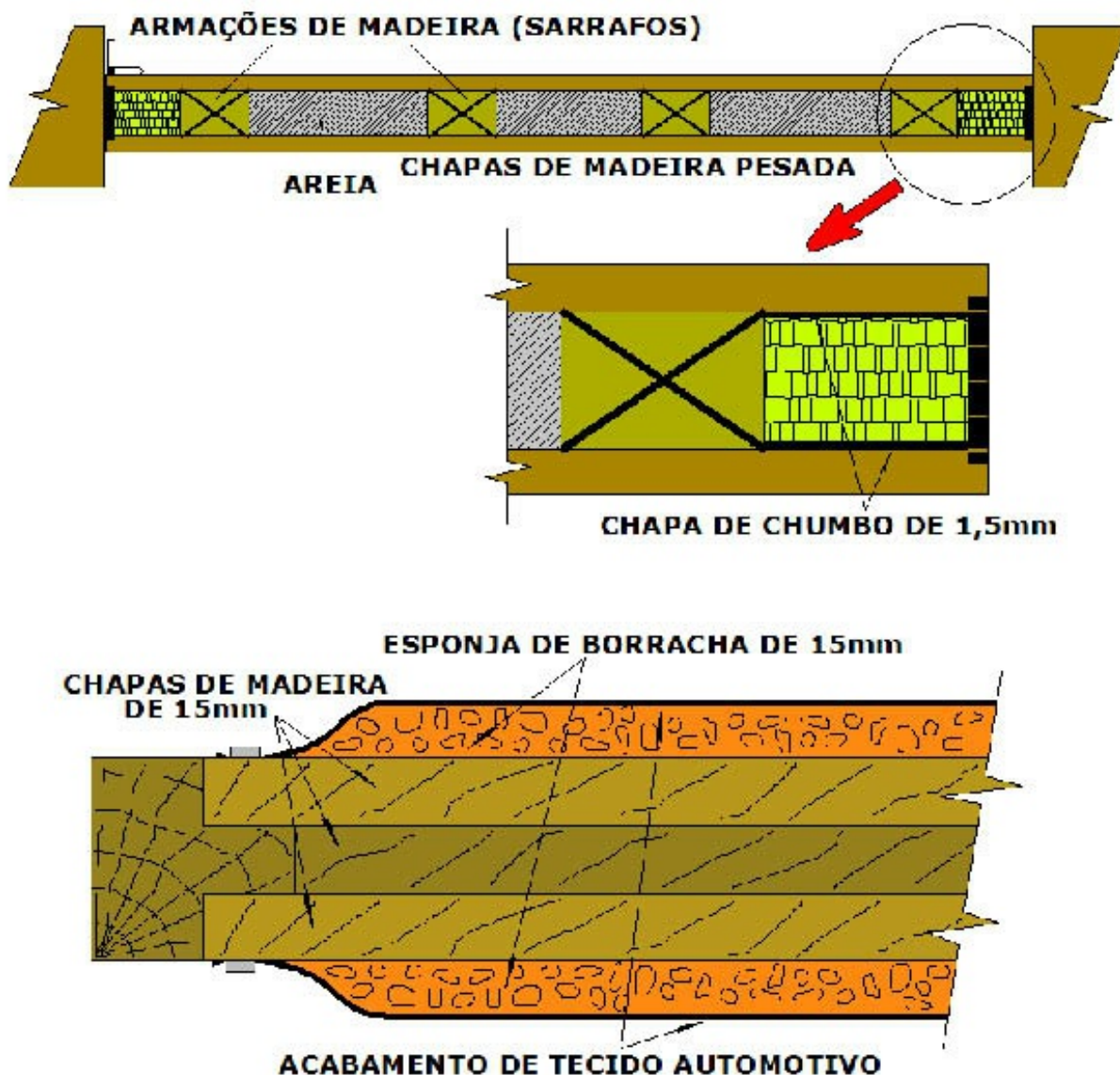


figura 3.115 portas semiacústicas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando falamos em portas, há basicamente duas formas de resolver a questão. Uma é usar portas acústicas. Outra é usar um artifício inteligente que, entretanto, nem sempre é possível em razão das condições físicas locais.

As portas acústicas podem ser adquiridas prontas, ou fabricadas de acordo com projetos.

As melhores portas acústicas encontradas prontas são fabricadas com núcleos especiais guarnecidos com chapas metálicas sempre muito espessas, recursos sofisticados de hermetização, dobradiças e fechos especiais, e assim por diante. Geralmente seus preços são de assustar.

O artifício que mencionei antes é utilizar um hall que antecede o local, chamado dique acústico. Como mostra a figura 3.114.

Nesse caso, as duas portas são separadas por uma certa distância, de modo que as propriedades de ambas contribuem para a obtenção do resultado desejado. Assim, essas portas podem ser construídas com certa facilidade, e preços relativamente baixos, de acordo com

desenhos simples. Dois exemplos são dados na figura 3.115.

Quanto às janelas, sempre que possível é melhor evitá-las. O que é aplicável a casos de cinemas, teatros, estúdios, auditórios, casas de espetáculos musicais, casas noturnas e tantos outros. Mas às vezes temos que conviver com elas. A exemplo de auditórios construídos em prédios alugados por empresas comerciais.

Quando isso ocorre, há algumas alternativas de solução.

A primeira é obter melhor hermetização das folhas contra os caixilhos. Os tratamentos usuais são:

- cobertura acústica adequada por toda a área a ser atendida pelo sistema, de modo que o máximo de energia seja irradiada para esta área, e um mínimo dispersado para quaisquer outras direções
- elevados níveis de pressão sonora projetados a grandes distâncias
- comportamento das fontes de som como fontes puntiformes

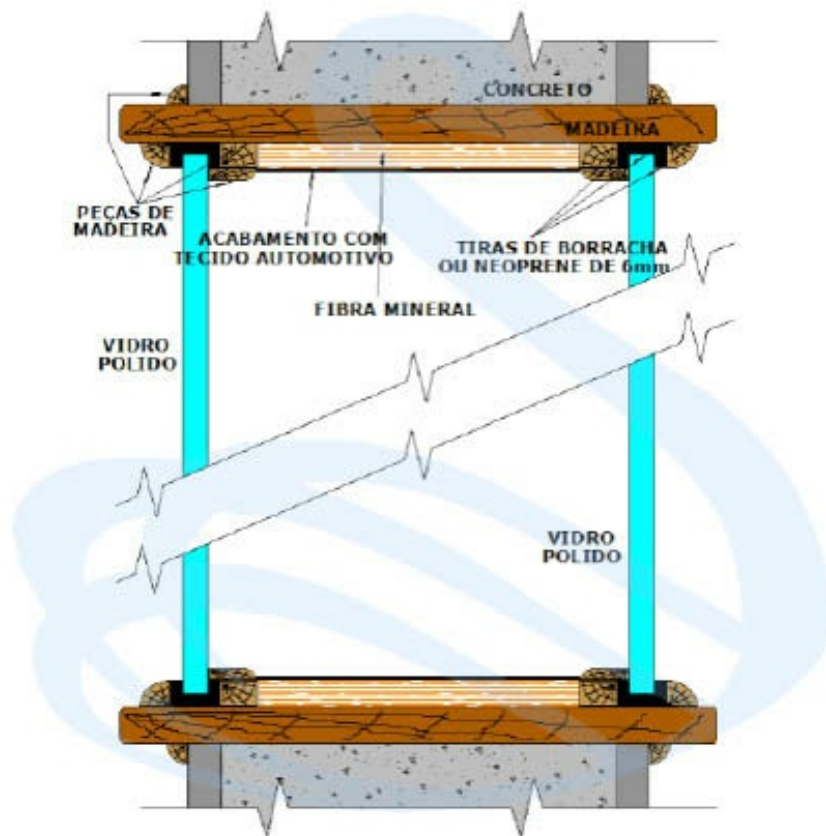


figura 3.116 construção típica de uma janela de observação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Um caso especial são as janelas de observação dos estúdios, ou “aquários”, que exigem esforços especiais.

Como a visibilidade é imperativa, a construção com vidro ou materiais transparentes é a regra.

A figura 3.30 nos mostra as figuras STC para diversas paredes duplas de vidro, em várias espessuras. A separação máxima da figura é de 150 mm. Mas em muitos estúdios o efeito da separação é maximizado com distanciamentos de até 300 mm.

O uso de vidros simples com espessuras entre 6 e 12 mm é ditada por razões econômicas. Prática que não recomendo.

De fato, vidros de segurança são indispensáveis. Há dois tipos deles. Os temperados, que

são preferidos por seus preços relativamente baixos, e os laminados, recomendados para quando se está preparado para pagar preços mais elevados. Os resultados acústicos obtidos com estes últimos são correspondentemente superiores.

Outro aspecto que deve ser observado com atenção durante a construção de janelas de observação é que as ressonâncias que ocorrem na cavidade formada no interior das lâminas de vidro criam efeito semelhante ao do “buraco acústico”. O remédio é reduzi-las ao máximo. A maneira clássica de fazê-lo é aplicar materiais absorvedores por todo o perímetro que separa os dois vidros. Se a espessura do material absorvedor for da ordem de 25 mm, serão obtidos aumentos de aproximadamente 5,0 dB na figura STC. Se esse material tiver espessura de 100 mm, e a parte visível for revestida com metal perfurado, a transmissão em baixas frequências será consideravelmente melhorada.

A figura 3.116 mostra a construção de uma típica janela de observação.

Muita gente que desenha e constrói uma janela destas pela primeira vez frequentemente acaba com um problema tipo bomba de efeito retardado, já que as consequências só surgem algum tempo depois da janela ter sido construída. Estou me referindo à formação de bolor nas faces internas das lâminas de vidro. O que exige a desmontagem de toda a janela, seguida da limpeza adequada e da remontagem de todo o conjunto.

Se as causas do problema não forem eliminadas, o bolor voltará a aparecer em pouco tempo.

Bolor nada mais é do que o nome que damos a colônias de fungos, que proliferam rapidamente em ambientes úmidos. Logo, evitar a umidade é o melhor tratamento para evitar essas colônias. Seja na fase construtiva da janela, o que é o ideal, seja na fase de recuperação, quando os cuidados necessários não foram tomados na fase construtiva.

O tratamento em si é desenvolvido em três etapas.

Inicialmente é preciso impermeabilizar muito bem toda a parede na qual a janela será instalada.

Especialmente nas partes mais próximas da abertura onde a janela será encaixada. Cuidados especiais são requeridos nas faces da abertura, nas quais serão fixados os caixilhos.

Os dois impermeabilizantes mais recomendados são o Neutrol, muito durável e resistente, e o Vedacit, que a meu ver não reúne as propriedades desejadas para os casos específicos das janelas de observação.

A segunda etapa do tratamento é a hermetização das juntas entre os caixilhos e as faces da abertura na qual esses caixilhos serão fixados.

Os produtos mais indicados para isso são o Carboelástico e o Compriband.

O primeiro é uma pasta de cor muito escura, que só deve ser aplicada após a completa

secagem do Neutrol ou do produto que vier a ser utilizado como impermeabilizante na primeira etapa.

Ele deve ser aplicado sobre o produto anterior, em forma de camadas sucessivas.

Só então pode ser montado o caixilho.

Com a fixação deste, o Carboelástico é comprimido, e a pasta se espalha oferecendo excelente hermetização. Com isso, a umidade fica muito bem condicionada e fora da área capaz de causar o problema citado. Além disso, o Carboelástico também se comporta como vedante acústico.

O Compriband surge como alternativa, e sua aplicação é bem mais difícil do que a do Carboelástico.

A terceira etapa do tratamento é o uso abundante de sílica gel entre os dois vidros, em toda a parte perimetral.

O que se faz com o objetivo de reter eventuais traços de umidade porventura existentes na área não acessível posteriormente.

A variedade de sílica gel que recomendo é a de saturação infinita.

3.19.2.3 Ruídos Transmitidos por Estruturas Sólidas Geralmente a solução mais barata e mais eficiente para esse problema é tratar diretamente a própria fonte de ruído.

A vantagem adicional desse caminho é evidente quando a fonte ofensora atinge vários locais indistintamente, como as máquinas de ar condicionado de um grande prédio, provocando ruídos em todos os pavimentos.

Diante de casos como o exemplificado, os ruídos transmitidos por vias aéreas geralmente incomodam muitas vezes menos do que os transmitidos por estruturas sólidas. Assim, tratar a fonte ofensora significa atenuar os ruídos na origem.

O modo clássico é reduzir a magnitude da transmissão das vibrações. Por exemplo, apoiando o motor ou fonte ofensora sobre amortecedores mecânicos construídos com elastômeros especiais, ou sobre amortecedores com molas de aço.

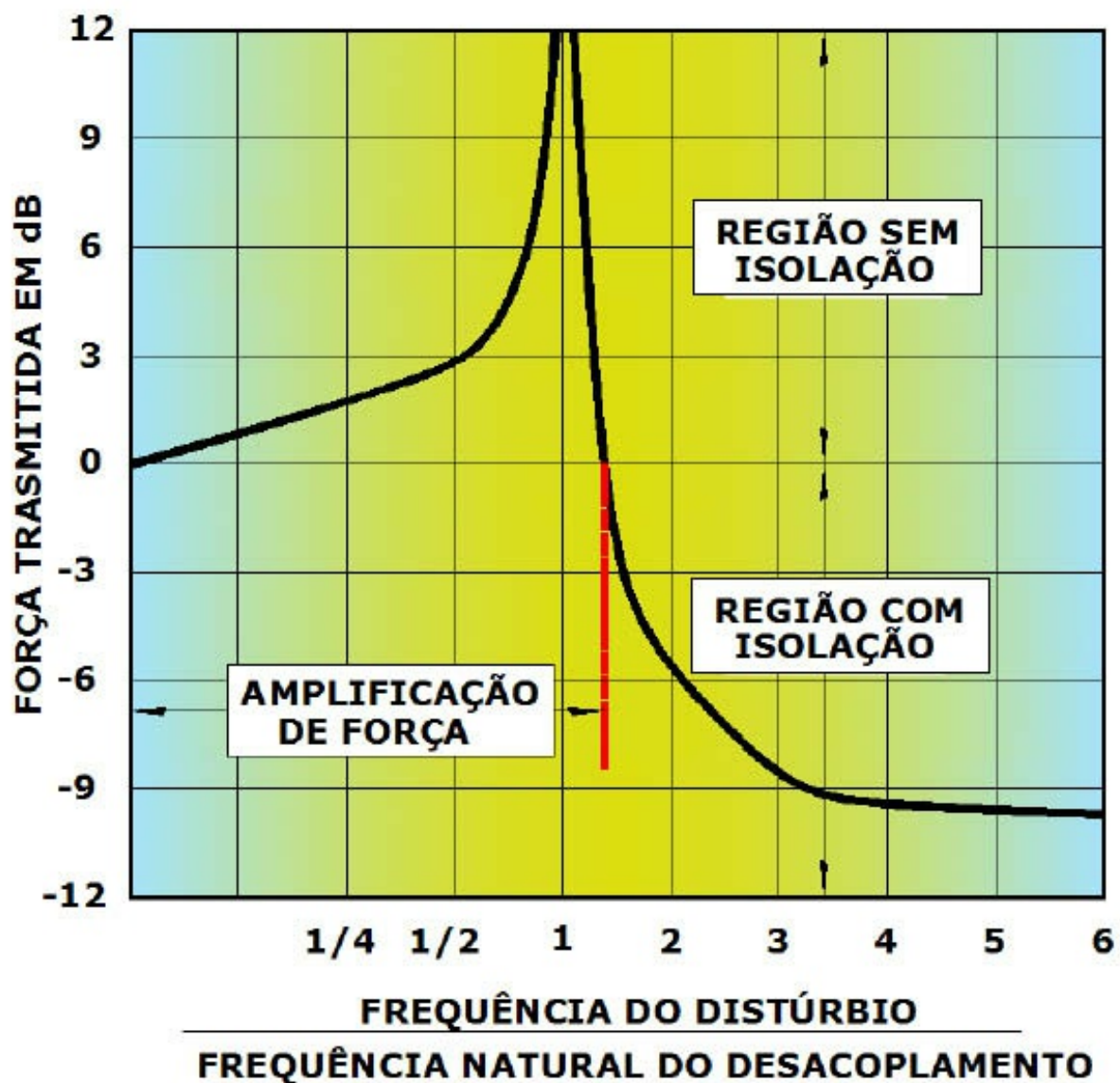


figura 3.117 reforço e atenuação das vibrações das máquinas em função da relação entre a frequência deletéria por estas produzidas e a frequência natural dos amortecedores de desacoplamento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra alternativa é apoiar a fonte ofensora sobre um bloco de inércia, geralmente feito de concreto, o qual é desacoplado da estrutura principal por mantas de cortiça, ou de material betuminoso, ou diversos outros materiais disponíveis, especialmente fabricados para essa aplicação.

Seja qual for a alternativa escolhida, é fundamental que o desacoplamento seja calculado de forma muito cuidadosa e precisa, ou os resultados poderão ser literalmente piores do que antes do tratamento.

Ao invés de explicar isso detalhadamente, vejamos o que ocorre com o auxílio da figura 3.117.

No eixo vertical do gráfico está a marca zero, representando que certos desacopladores são totalmente inócuos e incapazes de provocar qualquer modificação nas condições anteriores.

Acima da marca zero estão valores positivos, indicando que outros desacopladores efetivamente reforçam a transmissão das vibrações, agravando o problema. Os valores negativos abaixo da marca zero denotam que desacopladores bem projetados realmente podem introduzir atenuação na transmissão das vibrações.

O eixo horizontal do gráfico é graduado em termos das relações entre a frequência das máquinas e as frequências naturais dos desacopladores. Se observarmos a figura com atenção, veremos que quando essas duas frequências são iguais, ou estão muito próximas, a transmissão das vibrações é ampliada ao máximo.

E o problema agravado da pior maneira possível. Para quaisquer valores de frequências naturais de vibração superiores à frequência da máquina, haverá reforço na transmissão das vibrações em maior ou menor grau, e conseqüentemente, dos ruídos. Isso é, jamais devemos optar por alternativas como essas.

Quando a frequência dos desacopladores atinge cerca de 15% da frequência da máquina, a atenuação atinge seu ponto máximo.

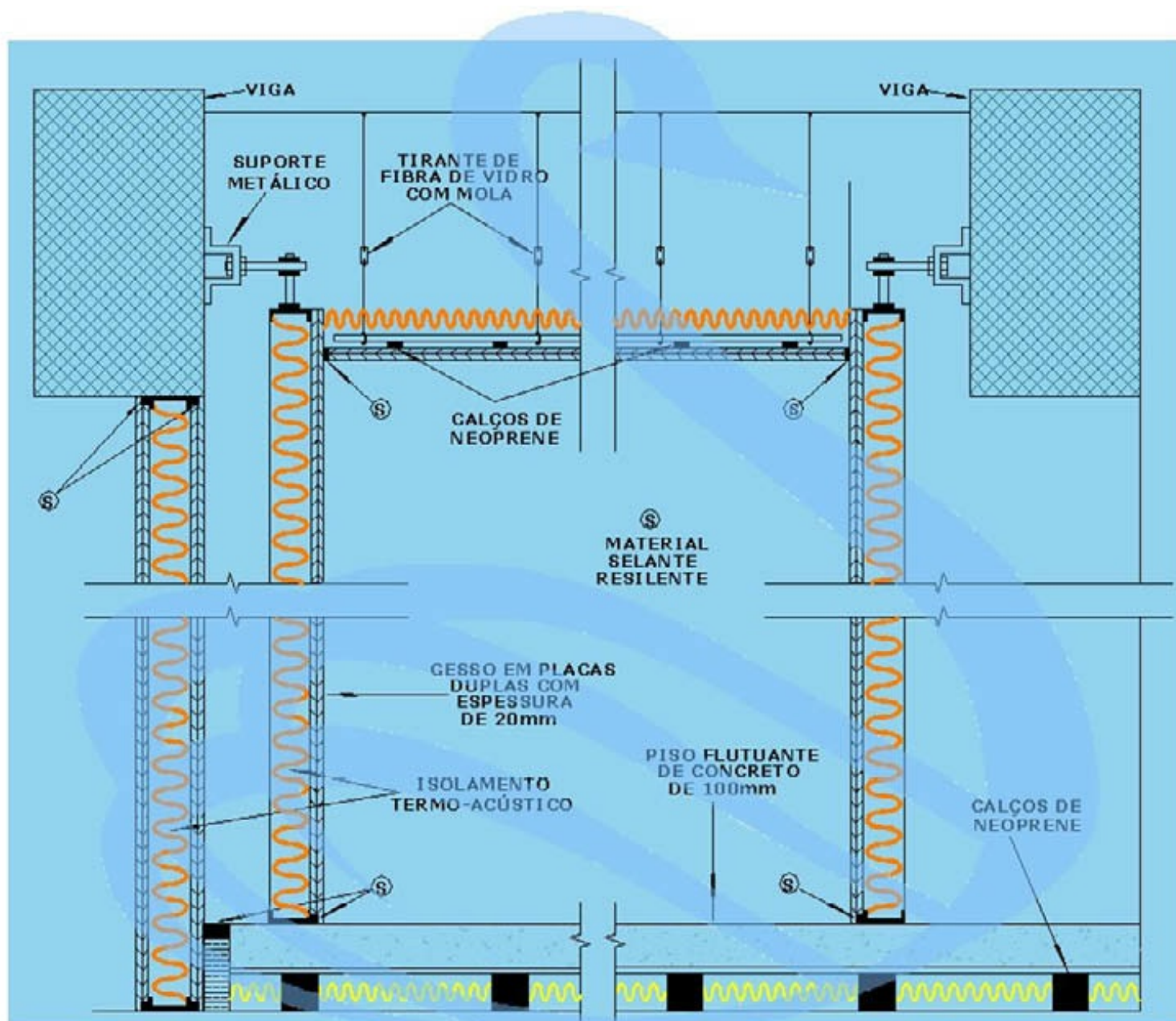


figura 3.118 desacoplamento acústico das estruturas horizontais e verticais de um recinto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esta solução é de aplicação geral. É comum utilizá-la tanto em casos nos quais os problemas de vibração e transmissão de estruturas sólidas resultam porque os cuidados necessários não foram tomados numa etapa inicial, como por exemplo a construtiva, ou em casos novos, nos quais toda a acústica é analisada detalhadamente em seus vários aspectos.

Além desta solução, estúdios, câmaras anecóicas e reverberantes, laboratórios de acústica, e tantos outros locais altamente especializados, usualmente também exigem outras soluções. Às vezes, radicais.

Como os ruídos invadem os recintos através das estruturas verticais e horizontais, que são postas a vibrar, uma das formas de cortar o mal pela raiz é desacoplar acusticamente essas estruturas.

Há inúmeras maneiras de fazer isso. E também há inúmeros acessórios que facilitam o trabalho.

Devo deixar claro que qualquer solução nesse sentido é sempre cara, e assim, nem sempre suportada por quaisquer orçamentos. Além disso, conte sempre com muitas resistências contra a ideia, por sinal muito eficaz, porque a maioria das empresas ainda não está habituada a ela.

A figura 3.118 ilustra uma das formas de desacoplar as estruturas verticais e horizontais.

3.19.2.4 Fontes Internas de Ruído Uma das máximas da acústica arquitetônica diz: “sempre que possível prefira combater as causas das fontes internas de ruído ao invés de seus efeitos”. Vamos a um exemplo simples. Se um recinto é invadido pelos ruídos provocados por um ventilador, melhor do que confinar os ruídos é promover a manutenção completa do ventilador. E se for preciso, substituí-lo por outro menos ruidoso.

Há diversos tipos de ruídos provocados por fontes situadas dentro do próprio local no qual se quer baixo NRA.

Uma grande parte desses ruídos é provocada por vibrações mecânicas em geral, como as originadas em painéis, nas ligações físicas de placas justapostas, nas junções de peças de acabamento, e outras, todas facilmente identificáveis e de correção simples.

3.19.3 Controle do Comportamento Acústico Interno
3.19.3.1 Padrão de Reflexões Os padrões de reflexões serão discutidos no capítulo 5. Por ora basta que fixemos que o bom comportamento acústico interno de um local fechado usualmente depende sempre da melhor difusão possível.

3.19.3.2 Tempo de Reverberação obtendo a figura ideal Depois de estabelecido o tempo de reverberação que queremos para nosso ambiente, temos que trabalhar para obtê-lo.

O primeiro passo é medir ou calcular os tempos reais do local. A medição é um processo simples e direto, mas só é possível quando o local já existe.

Então vamos nos exercitar com os cálculos para um caso hipotético. Pensemos numa sala com 8,0 metros de comprimento, por 5,0 de largura, com pé direito de 3,0 m.

O volume interno de 120m^3 está fora do gráfico da figura 3.92.

Mas os dados lá indicados sugerem para esse volume, e para média de programas musicais, que o ideal é um RT_{60} no entorno de 0,8 segundos. Que passa a ser nosso objetivo de trabalho.

O assoalho e o teto são de madeira corrida. Uma parede menor e uma maior são de tijolo aparente. A outra parede maior é de argamassa e a última de vidro. A montagem de uma planilha como a tabela que segue é sempre muito útil, prática e fácil de trabalhar.

tabela 3.9

		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1 kHz		2 kHz		4 kHz	
mater	m ²	$\bar{a}$	S $\bar{a}$	$\bar{a}$	S $\bar{a}$	$\bar{a}$	S $\bar{a}$	$\bar{a}$	S $\bar{a}$	$\bar{a}$	S $\bar{a}$	$\bar{a}$	S $\bar{a}$
madeira	80	.15	12,0	.11	8,80	.10	8,00	.07	5,60	.06	4,80	.07	5,60
tijolo	39	.02	0,78	.02	0,78	.03	1,17	.04	1,56	.05	1,95	.07	2,73
argam	24	.01	0,24	.01	0,24	.02	0,48	.03	0,72	.04	0,96	.05	1,20
vidro	15	.35	5,25	.25	3,75	.18	2,70	.12	1,80	.07	1,05	.04	0,60
$\Sigma S \bar{a}$	-	18,27		13,57		12,35		9,68		8,76		10,13	
RT_{60}	-	1,1		1,4		1,6		2,0		2,2		1,9	

A tabela 3.9 resume todos os cálculos até chegarmos aos valores reais de RT_{60} , sendo que os coeficientes de absorção utilizados estão compilados nas tabelas do Apêndice F. Elas mostram também os coeficientes de absorção dos principais materiais utilizados em construção civil, bem como os de alguns objetos de mobiliário, pessoas e ar, que também devem ser considerados em cálculos reais.

Os cálculos feitos a partir da equação de Sabine são relativamente precisos para grandes recintos, com tempos de reverberação superiores a 2 segundos e distribuição acústica uniforme. Para tempos de reverberação inferiores a 2 segundos o cálculo é progressivamente menos preciso. Agora precisamos conferir a nossa sala tempos de reverberação mais próximos do ideal.

Vemos na tabela 3.9 que os RT_{60} calculados e indicados na linha inferior, crescem com a frequência. O que significa que é preciso aumentar a absorção nas frequências mais altas. Então precisamos substituir materiais com baixos coeficientes de absorção por outros, com coeficientes que cresçam com a frequência.

tabela 3.10

		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1 kHz		2 kHz		4 kHz	
mater	m ²	$\bar{a}$	S $\bar{a}$	$\bar{a}$	S $\bar{a}$	$\bar{a}$	S $\bar{a}$	$\bar{a}$	S $\bar{a}$	$\bar{a}$	S $\bar{a}$	$\bar{a}$	S $\bar{a}$
madeira	80	.15	12,0	.11	8,80	.10	8,00	.07	5,60	.06	4,80	.07	5,60
tijolo	15	.02	0,30	.02	0,30	.03	0,45	.04	0,60	.05	0,75	.07	1,05
gesso	24	.31	7,44	.32	7,68	.52	12,48	.81	19,44	.88	21,22	.84	20,16
argam	24	.01	0,24	.01	0,24	.02	0,48	.03	0,72	.04	0,96	.05	1,20
vidro	15	.35	5,25	.25	3,75	.18	2,70	.12	1,80	.07	1,05	.04	0,60
$\Sigma S \bar{a}$	-	25,23		20,77		24,11		28,16		28,68		28,61	
RT_{60}	-	0,8		0,9		0,8		0,7		0,7		0,7	

Numa primeira tentativa trataremos a parede de 8m x 3m, de tijolo aparente, revestindo-a com gesso acústico zonolite, de 12 mm, cujos coeficientes de absorção acústica são 0,31; 0,32; 0,52; 0,81; 0,88 e 0,84 para 125, 250, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hertz, respectivamente.

Novamente, os coeficientes de absorção foram obtidos no apêndice F. Os cálculos ficam como na tabela 3.10.

A curva tracejada da figura 3.119 mostra a curva de RT_{60} real (calculada) de nossa sala exemplo.

A reta mostra o valor ideal desejado, e a curva em traço cheio o que é possível obter com a aplicação estudada de materiais apropriados.

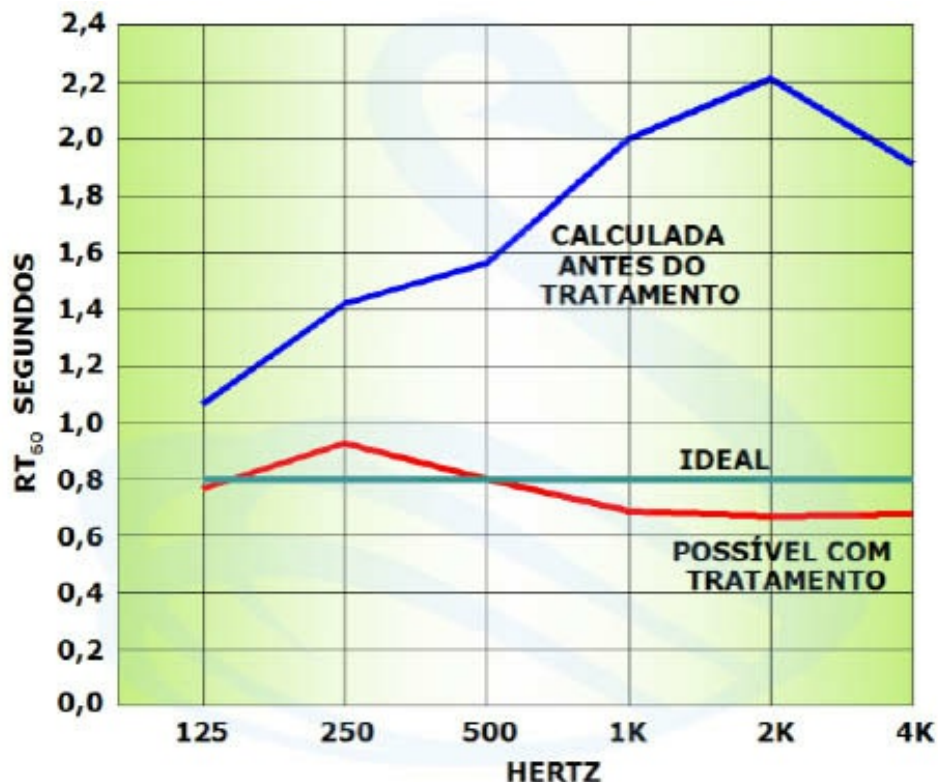


figura 3.119 tempos de reverberação antes do tratamento, a figura ideal, e depois do tratamento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma vez corrigida a curva RT_{60} , pode-se esperar por melhores resultados sônicos em geral. Mas nosso exemplo representa um caso extremamente simples, o que não é a regra. Na prática, é comum utilizarmos vários tipos de materiais de acabamento, e não apenas um, como em nosso caso.

Ressalte-se que não obstante tenhamos feito os cálculos para um material denominado gesso acústico, qualquer outro material poderia ter sido utilizado, pois todos eles são acústicos.

Muitas vezes precisamos aumentar o RT_{60} ao invés de reduzi-lo, e então é preciso substituir materiais absorvedores por outros, mais reflexivos.

O tempo de reverberação adequado é uma das condições acústicas fundamentais para a obtenção de melhores resultados.

juntando a fome com a vontade de comer A função principal dos painéis de ação diafragmática, ou dos perfurados, é inteiramente preservada mesmo que eles sejam

construídos em curva, para que tenham forma semicircular. E assim, além de serem elementos absorptivos, também adquirem boas propriedades de difusão acústica.

O projetista deve estar atento para um detalhe que muitas vezes passa batido mesmo para engenheiros experientes. É que paredes rígidas, painéis de gesso, pisos de madeira elevados ou fixados sobre tarugos, painéis sobre tarugamento revestindo paredes, forros construídos com superfícies contínuas, e tantos outros, se comportam essencialmente como painéis diafragmáticos. E portanto, absorvem baixas frequências. Quando não se dá a devida atenção para isso, o recinto pode acabar com muito mais atenuação em baixas frequências do que o desejado.

Embora colocado de maneira singela, a tarefa de obter um RT_{60} ideal ao longo do espectro relevante de frequências pode se tornar árdua. Às vezes há padrões inconvenientes de formação de ondas estacionárias, que deverão ser antes “filtradas” com painéis acústicos sintonizados, ou reduzidas por outros processos.

3.19.3.3 Distribuição dos Sons pelo Ambiente Fechado No caso de nosso exemplo da tabela 3.10, escolhemos uma parede qualquer e nela aplicamos todo o material absorptor. E acabamos com um tempo de reverberação próximo do desejado.

Entretanto, isso era apenas um exercício voltado para o controle do tempo de reverberação. Acabamos com uma parede muito absorptora, outra muito reflexiva, e assim por diante.

Logo, esse não é um bom exemplo de distribuição de materiais acústicos para obtenção da difusão adequada. Para aplicações gerais, usualmente se prefere distribuição tal que os coeficientes médios de absorção de todas as superfícies, por unidade de área, sejam aproximadamente do mesmo valor.

O que se consegue com distribuição aleatória de cada tipo de material por toda a superfície interna do recinto.

Por outro lado, muitas vezes se quer obter determinados padrões reflectométricos. Como, a título de exemplo, numa sala técnica de estúdio.

Para casos assim há duas soluções gerais. Uma delas é empregar os ensinamentos de mestre Donald Davis para se chegar a um espaço LEDE. Acrônimo para Live End Dead End. Neste, a metade frontal da sala é feita totalmente absorptiva, à semelhança de uma câmara anecóicas. A metade posterior, inversamente, é feita totalmente reflectente, à semelhança de uma câmara reflectente. Apenas que são utilizados difusores não especulares para controlar a reflectometria do espaço. O objetivo final de um estúdio LEDE é controlar o ITDG, mantendo-o entre 25 e 35 milissegundos.

A segunda solução geral é alinhar as necessidades pesquisadas para dar a sala o caráter que as pessoas, após intensas e seríssimas análises, disseram preferir. Em linhas gerais temos:

- * eliminar as reflexões que chegam da parede frontal
- * eliminar as reflexões que chegam pelo piso
- * eliminar as reflexões que chegam pelo forro
- * reforçar as reflexões laterais que chegam em ângulos de aproximadamente 60°

- * difundir as reflexões que chegam da parte posterior do estúdio Para se chegar nisso precisamos:

- * aplicar painéis absorvedores de espectro amplo na parede frontal do estúdio
- * aplicar absorvedores no piso para evitar as correspondentes reflexões
- * aplicar absorvedores no forro para evitar as correspondentes reflexões
- * aplicar painéis refletentes nas paredes laterais para estimular as reflexões a 60°

- * aplicar painéis não especulares nas paredes laterais, entre os painéis refletentes e a parede do fundo
- * aplicar difusores não especulares na parede do fundo

Veja que este é apenas um exemplo de sala na qual não promovemos a distribuição homogênea.

A figura 3.120 mostra um desenho de estúdio LEDE.

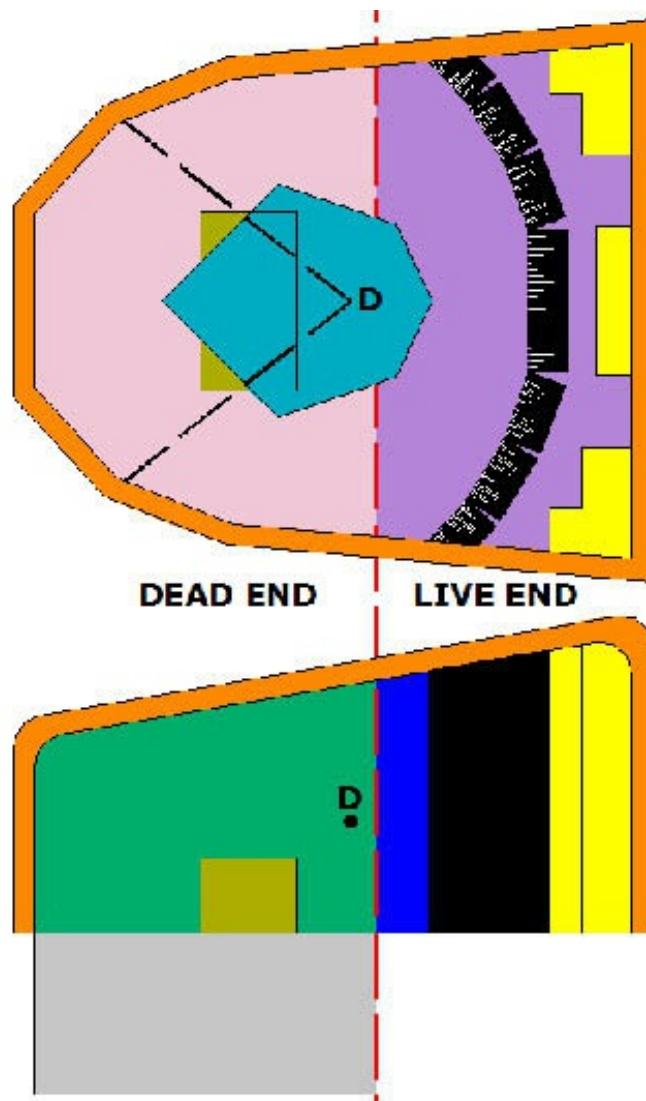


figura 3.120 sala técnica de estúdio LEDE – Live End Dead End (depois de Donald Davis) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura apresenta uma vista superior, na parte de cima da figura, e logo abaixo dela um corte transversal da sala.

O ponto D é aproximadamente o local ficam os ouvidos do engenheiro, de sorte que as

distâncias para as caixas monitoras, ambas embutidas na parte vertical frontal do estúdio, são rigorosamente iguais.

A área em cor verde na vista superior chama-se RFZ, acrônimo para Reflection Free Zone. Portanto, esta é uma área não sujeita a reflexões primárias de grande intensidade. O que ajuda a controlar o ITDG.

A parte traseira, muito reverberante, é plena de difusores não especulares, com a mesma finalidade de controle do ITDG.

A figura 3.121 mostra o tratamento dado a uma sala de música residencial, em princípio a mesma concepção acústica que a reservada para as salas técnicas de estúdios não LEDE.

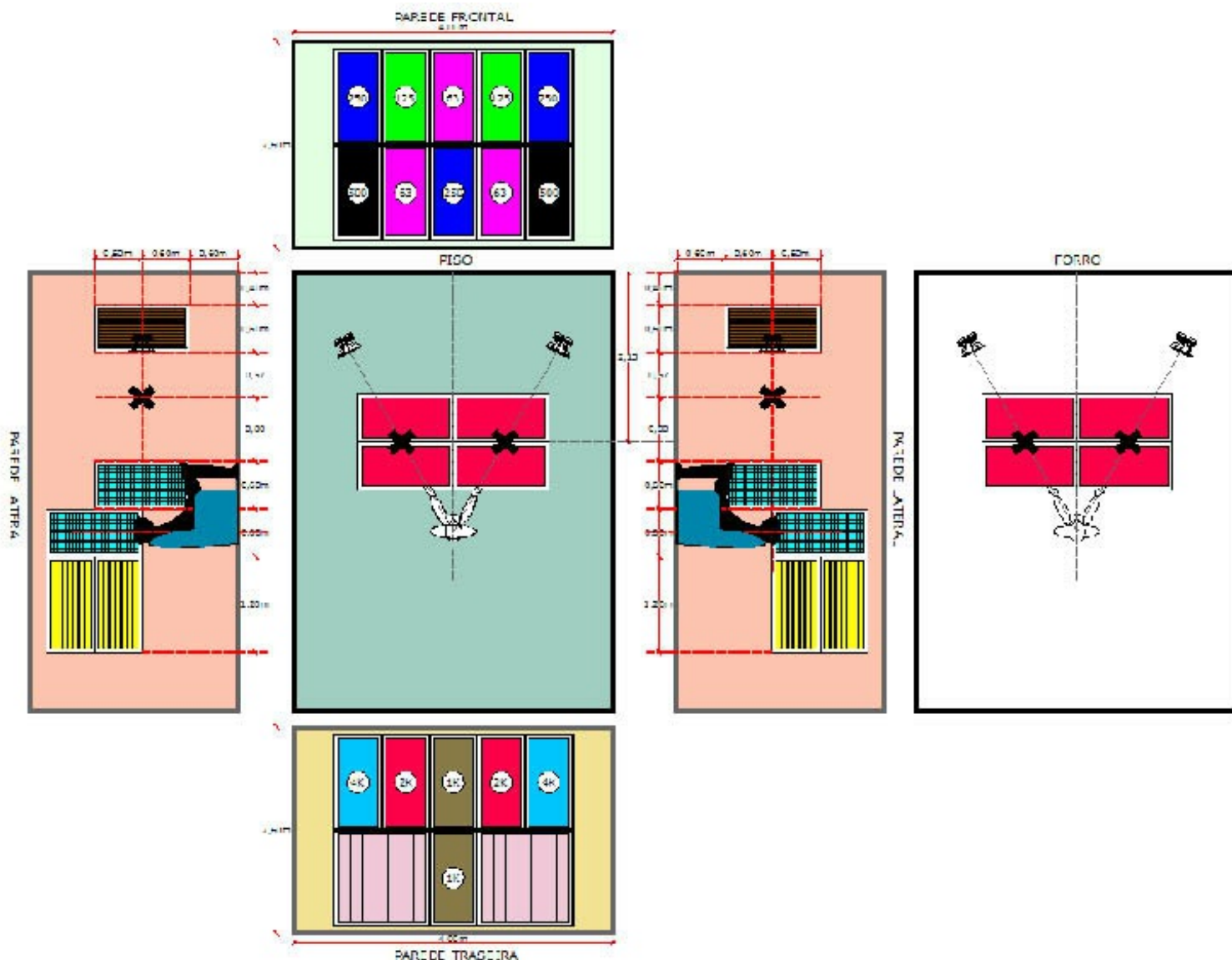


figura 3.121 resumo de condicionamento acústico interno de sala de música residencial acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 3.19.3.4 Acústica Variável Pense numa igreja. Quando alguém fala do palco para a comunidade, a inteligibilidade da palavra torna-se o parâmetro mais importante do que qualquer outro. Ao menos se a intenção é que as pessoas realmente ouçam e entendam bem o que está sendo falado.

Num outro momento a banda está tocando. A comunidade espera poder cantar juntamente com a banda para criar o ambiente adequado para tal situação. O que significa que cada membro da comunidade deve ouvir o que os demais estão cantando a cada momento.

Ora, os requisitos acústicos dessas duas situações são praticamente opostos.

Como resolver isso?

A saída clássica é projetar o espaço com acústica variável. A qual pode ser implementada de inúmeras maneiras.

elementos variáveis

A forma mais simples é criar elementos que possam ser alterados para produzir diferentes resultados acústicos. Por exemplo, um painel basculante que possa ficar encostada na parede com sua superfície absorvedora dando para o ambiente, e que possa ser basculado de sorte que sua superfície refletente é que fique voltada para o espaço.

Por favor, volte para a figura 3.111. Imagine que cada uma das aletas da parede direita possa ser girada para cima ou para baixo, expondo mais ou menos a área da parede atrás dela. Digamos que essa parede seja bastante absorvedora. Assim, não só alteramos o Tempo de Reverberação, mas também os padrões reflectométricos da sala.

Outro exemplo é o uso de cortinas muito espessas, e por isso bem absorvedoras, que possam ser operadas totalmente fechadas, totalmente abertas e em quaisquer situações intermediárias.

elementos ajustáveis

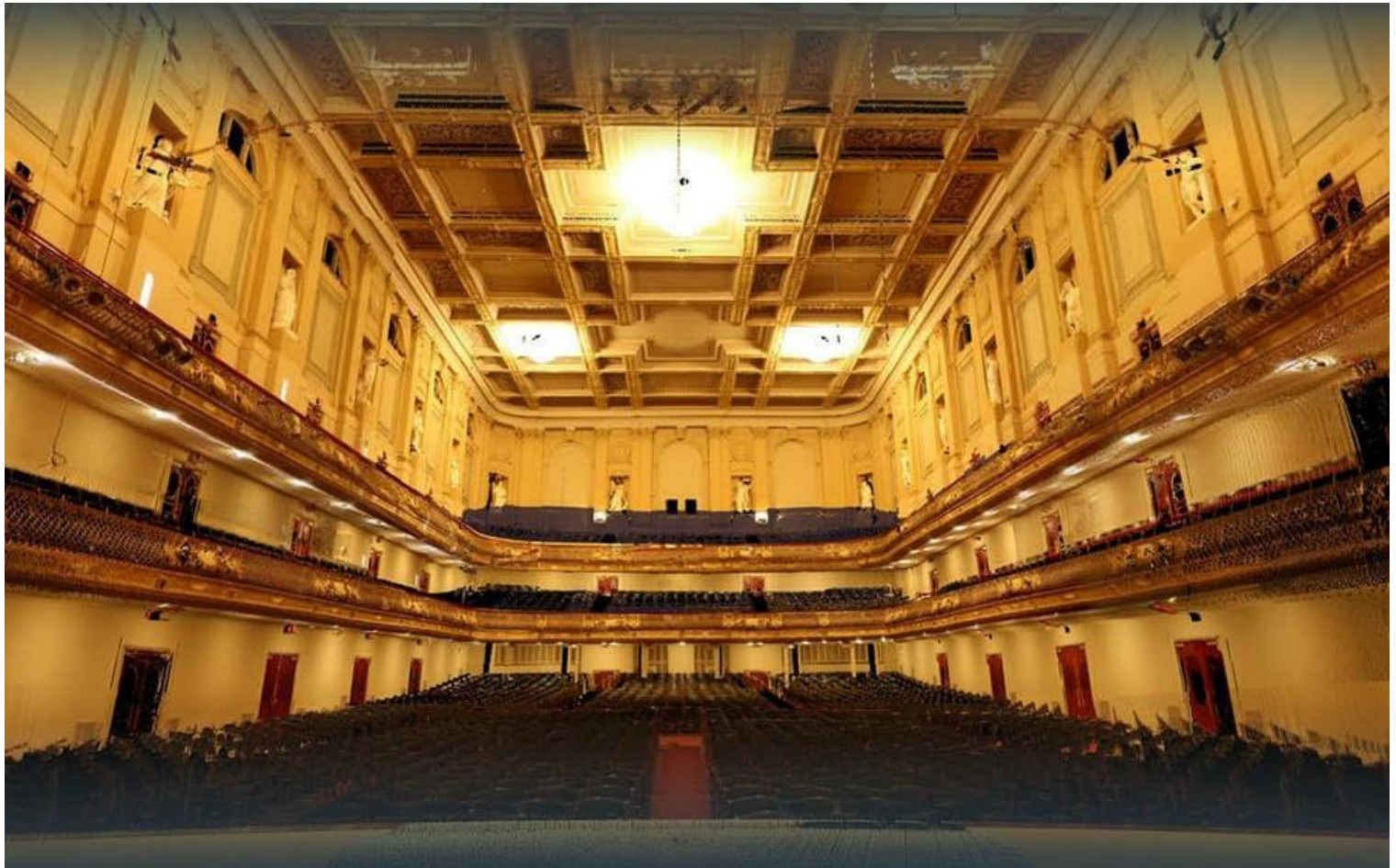


figura 3.122 Boston Symphony Hall – vista do palco acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O Boston Symphony Hall, retratado na figura 3.122, possui forro formado por retângulos que podem ser individualmente elevados ou rebaixados.

Dessa forma, inicialmente é possível mudar o volume da sala de um valor mínimo a outro valor, agora máximo.

Por força desse mecanismo, é possível criar passagens do som de baixo para cima, entre os vãos dos retângulos.

Com isso, os sons que sobem ficam retidos na parte superior que é feita totalmente absorviva.

Esse recurso possibilita ajustar a acústica da sala para diferentes condições acústicas.

O mesmo princípio foi utilizado em nossa Sala São Paulo muitas décadas após a inauguração do Boston Symphony Hall.

elementos desenhados para propiciar acústica variável A figura 3.123 mostra um triffusor, desenhado e produzido por Peter D'Antonio da RPG.

O triffusor possui três faces. Uma é bastante reflexiva, outra bastante absorviva e a terceira preponderantemente difusiva.

O dispositivo é instalado na parede de sorte que pode ser rotacional de 120º em 120º, de modo a expor quaisquer das três superfícies, como desejado.

Imagine agora uma parede totalmente montada com esse tipo de produto. Pode-se, por assim dizer, obter qualquer comportamento acústico desejado.

Agora, vamos expandir a ideia para que o triffusor seja empregado na maioria das paredes e superfícies de um espaço. Isso é o que foi objeto de pesquisas no IRCAM, Paris, cuja foto é o da figura 3.124.



figura 3.123 triffusor cortesia Peter D'Antonio de RPG Inc.



figura 3.124 IRCAM, Paris, com elementos trifusores cortesia IRCAM, Paris sistemas ativos de acústica variável Os sistemas ativos de acústica variável seguem aproximadamente o mesmo padrão de solução.

Basicamente eles são aplicados em igrejas e em teatros. Como fizemos no Teatro Municipal de São Paulo e no Gran Teatro Nacional, Lima, Peru.

Inicialmente são instalados alguns microfones no palco, relativamente elevados do piso, usualmente fixados em varas cênicas, os quais geram alguns sinais individuais.

A seguir esses sinais são submetidos a processamento eletrônico e, através de uma grande quantidade de alto-falantes, devolvidos ao espaço após processamento.

A ideia é incrementar os Tempos de Reverberação de espaços feitos naturalmente secos.

Uma das empresas que domina essa técnica é a Lexicon, famosa por seus processadores, hoje parte do Grupo Harman.

Quem tiver interesse nesse assunto específico pode entrar no site da empresa, que é: www.lares-lexicon.com

Entre muitas outras informações, você encontrará uma boa literatura técnica dando uma boa ideia de como o sistema funciona com suas alternativas de arquitetura.

3.20 MUFLAS ACÚSTICAS

Também denominados atenuadores acústicos e silenciadores, esses são dispositivos desenhados para reduzir ou absorver ondas sonoras que se propagam num determinado meio. Com efeito, a definição mais simples de uma mufla acústica é um duto ou caixa especial que impede ou reduz a transmissão de sons sem impor muitas restrições ao livre fluxo de ar.

As aplicações mais comuns das muflas são como silenciadores em veículos automotores, em aeronaves, em sistemas de ar condicionado e/ou de ventilação, em instalações de compressores, de bombas e de grupos motores-geradores, em chaminés e em linhas de descarga de gases em geral.

Embora colocado assim de modo bastante elementar, a engenharia por trás das muflas é um capítulo à parte na ciência acústica, caracterizado por elevado grau de complexidade física e matemática.

Do ponto de vista de conceito construtivo, as muflas podem ser classificadas em dissipativas (ou absorptivas), reativas (ou refletentes) e dispersivas (ou difusivas).

3.20.1 Muflas Dissipativas



figura 3.125 mufla típica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As muflas dissipativas utilizam materiais fonoabsorvedores para atenuar parte da energia incidente. As propriedades físicas e espessura desses materiais fonoabsorvedores devem ser escolhidas em função do nível de energia e da frequência predominante do ruído a ser atenuado.

A energia sonora incidente é parcialmente transformada em calor durante sua passagem pelo dispositivo.

As formas físicas mais comuns das muflas dissipativas são tubos interna e/ou externamente revestidos, unidades cilíndricas e/ou retangulares com inúmeros desenhos internos, cotovelos internamente revestidos, venezianas acústicas e câmaras tipo plenum internamente revestidas.

3.20.1.1 Tubos Internamente Revestidos



figura 3.126 mufla de tubo internamente revestido acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essa é sem dúvida uma maneira bastante intuitiva de atenuar ruídos com um mínimo de ação sobre o fluxo de ar. É também uma alternativa natural e muito eficaz para a situação comum na prática de ar e ruído serem conduzidos juntos por um duto. Como é o caso dos gases de exaustão dos motores à combustão dos automóveis e dos sistemas de condicionamento de ar. Assim, os silenciosos automotivos são casos clássicos de muflas dissipativas. Entretanto, o uso desses dispositivos em edificações também é muito comum.

A atenuação típica dos tubos internamente revestidos pode ser aproximada pela expressão:

$$NR = 1,05 \times \bar{a}^{1,4} \cdot (l \cdot P / S) \quad (3.49)$$

$NR = 1,05 \times \bar{a}^{1,4} \cdot (l \cdot P / S)$ onde

* $\bar{a}$ é o coeficiente médio de absorção do material fonoabsorvedor utilizado, * l é o comprimento total do tubo, * P é o perímetro do tubo revestido com o material fonoabsorvedor * S é a seção transversal do duto em m^2

Embora esse tipo de atenuador seja muito eficiente para aplicações gerais, não é uma boa opção para sistemas de ventilação e ou de condicionamento de ar, os quais exigem diâmetros de tubo consideravelmente grandes e espessuras substanciais de materiais fonoabsorvedores. Nesses casos é recomendável pensar em utilizar atenuadores cilíndricos e/ou retangulares.

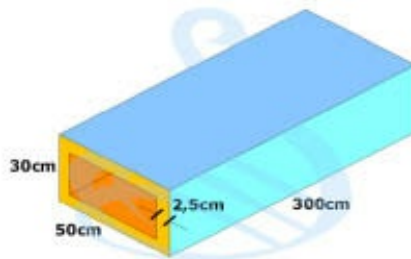


figura 3.127 mufla de tubo retangular acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Considere o exemplo da figura 3.127. Lá está um duto retangular com altura total de 0,30m e largura total de 0,50m, para comprimento de 3,0m. O duto é internamente revestido com fibra de vidro com espessura de 25mm.

Usando a expressão 3.49 para calcular sua performance, temos:

Hz	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	16K
$\bar{\alpha}$	0,08	0,11	0,34	0,70	0,81	0,86	0,85	0,89	0,89
$\bar{\alpha}^{1,4}$	0,03	0,05	0,22	0,60	0,75	0,81	0,80	0,85	0,85
NR (dB)	1,2	2,0	8,6	23,5	29,4	31,8	31,4	33,3	33,3

3.20.1.2 Atenuadores Cilíndricos e Retangulares



figura 3.128 mufla tipo atenuador cilíndrico à esquerda e atenuador retangular à direita Cysne Science Publishing Co.

Caixas com elementos absorvedores paralelos ou anulares são formas muito comuns de muflas dissipativas. O desempenho acústico desses elementos é função do comprimento e espessura dos elementos absorvedores, os espaçamentos entre eles além dos coeficientes de absorção acústica dos próprios elementos.

De modo geral pode-se dizer que a atenuação típica é da ordem de 10,0 a 30,0 dB para cada metro linear de mufla. É possível desenhar estas muflas para que as atenuações mais elevadas ocorram mais nas baixas, ou nas médias ou nas altas frequências.

Veja os três exemplos da figura 3.129.

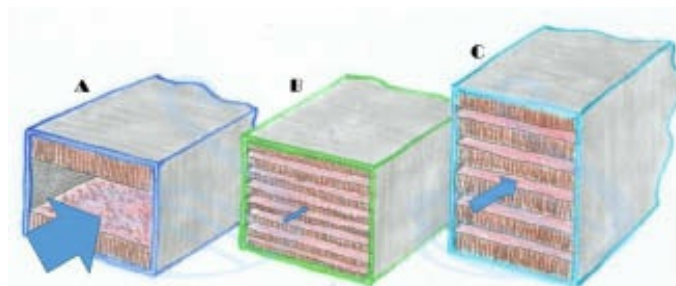


figura 3.129 muflas para baixas frequências (A), para altas frequências (B) e para médias frequências (C) Cysne Science Publishing Co.

Do lado esquerdo da figura (A) está representada a mufla mais adequada para as baixas frequências. Com efeito, as camadas dos elementos absorvedores são relativamente espessas e a distância entre os elementos é elevada. Na parte central do desenho (B) está esquematizada a mufla própria para altas frequências. Eis porque as camadas de material fonoabsorvedor são bem finas e as distâncias entre elas bem reduzidas. Na parte direita do desenho uma mufla que

corresponde ao meio termo entre as duas anteriores. Portanto, desenho adequado para as médias frequências. Nota-se que as camadas de material fonoabsorSOR são espessas mas sem exageros, porquanto as distâncias entre as camadas ficam entre o elevado e o reduzido.

Para obter atenuação numa banda mais extensa do espectro basta associar essas muflas em série.

Um dos blocos construtivos de muitas muflas são os denominados “splitters”. Estes são apenas caminhos cilíndricos ou elementos absorsores tubulares colocados na parte central das muflas dissipativas. Sua função é possibilitar a redução da queda de pressão do aparelho que precede a mufla, a qual deve, portanto, ser instalada imediatamente após o aparelho.

O desempenho acústico das muflas cilíndricas e retangulares é similar. De modo geral, melhores resultados em altas frequências e operação menos eficaz nas baixas frequências. O que pode ser compensado com comprimentos maiores.

Há muitas muflas fabricadas comercialmente, na maioria dos casos com modularidade. Isso possibilita o empilhamento físico e combinações, de sorte que o projetista praticamente pode chegar a quaisquer requisitos de desempenho e conveniência de volume físico.

3.20.1.3 Cotovelos Internamente Revestidos Uma curva ou cotovelo num tubo internamente revestido pode melhorar consideravelmente a atenuação da energia sonora que por ele se propaga.

De fato, quando a energia é forçada a mudar de direção, a energia é obrigada a incidir diretamente numa superfície de material fonoabsorSOR. Onde parte dela é absorvida e a parte remanescente é refletida. A parte não absorvida acaba sendo refletida até que encontre seu caminho para a saída do tudo. Então, já atenuada acusticamente.

Cada reflexão sucessiva subtrai energia da onda incidente. Se o comprimento de onda é inferior ao diâmetro de tubos redondos ou dimensões de tubos retangulares com cotovelo, a atenuação acústica é muito superior ao que seria obtido num tubo sem o cotovelo de mesmo comprimento.

Entretanto, essa é a teoria. Na prática, os cotovelos internamente revestidos só se mostram eficazes quando o dispositivo possui três ou mais cotovelos e o revestimento do material fonoabsorSOR é aplicado a todas as seções que ficam antes e depois desses cotovelos.

Caixas com elementos absorsores paralelos ou anulares são formas muito comuns de muflas dissipativas. O desempenho acústico desses elementos é função do comprimento e espessura dos elementos absorsores, os espaçamentos entre eles além dos coeficientes de absorção acústica dos próprios elementos.

Os fabricantes produzem cotovelos comerciais usualmente formados de curvas em ângulo

reto, mas usando aletas internas para reduzir turbulências e os ruídos típicos que elas geram.

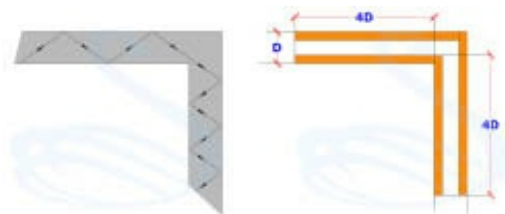


figura 3.130 cotovelo acústico com e sem revestimento interno Cysne Science Publishing Co.

3.20.1.4 Venezianas Acústicas



figura 3.131 veneziana acústica Cysne Science Publishing Co.

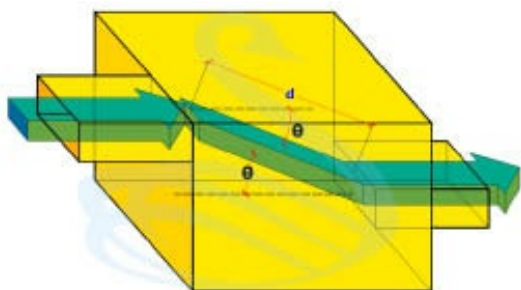
O conceito por trás das venezianas acústicas é a divisão de uma grande área através da qual se daria o fluxo de ar em áreas menores caracterizando passagens mais estreitas.

Tipicamente são muflas de pouca espessura com grandes áreas de seção transversal. Na maioria das vezes são aplicados materiais fonoabsorvedores nas passagens de forma a aumentar a absorção sonora da energia incidente.

Os usos mais comuns dessas muflas é na entrada e na saída de grandes sistemas pelos quais há fluxo de ar com ruído e, também, em gabinetes acústicos que requerem qualquer forma de ventilação.

Muitas vezes a direção do fluxo principal de ar é alterada pelas venezianas acústicas de modo a interromper a linha de visada direta de transmissão do ruído de quaisquer fontes interiores de ruído para o ambiente externo.

3.20.1.5 Câmaras Plenum



A figura 3.132 mostra uma câmara plenum típica. Essas muflas são muito utilizadas quando são desejados elevados graus de atenuação e, tamanho não é problema. A propósito, já desenhei inúmeras dessas câmaras me valendo de quartos que eram e continuaram a ser usados como pequenos depósitos e mesmo áreas de passagem e aplicações semelhantes.

A definição clássica desse tipo de mufla é um enorme volume físico interposto entre dois tubos bem menores, localizados em paredes opostas e não no mesmo alinhamento de sorte a evitar a transmissão direta da entrada para a saída.

Todas as superfícies internas da câmara plenum são revestidas com material fonoabsorvedor de maneira a facilitar a absorção sonora da onda incidente, que acaba sendo refletida muitas vezes entre as paredes onde estão a entrada e a saída, além das outras.

A figura 3.133 ilustra a maneira como se processa na prática a atenuação dos ruídos que entram na câmara.

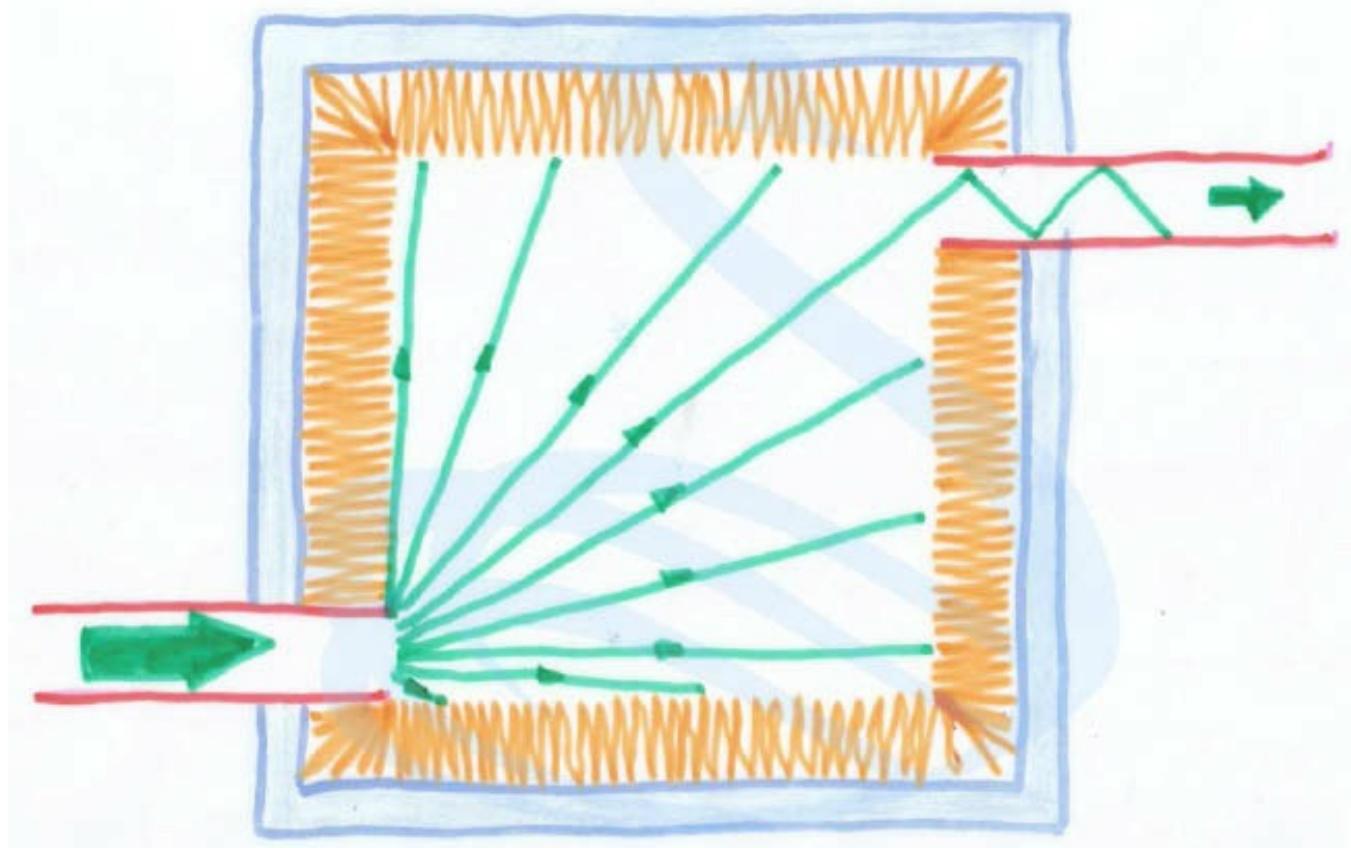


figura 3.133 ilustração de como ocorre a atenuação numa câmara plenum Cysne Science Publishing Co.

A atenuação de uma típica câmara plenum é dada por:

$$PT = 10 \log \left[\frac{1}{S_5 \left(\frac{\cos \theta}{2 \pi d^2} + \frac{1 - \alpha}{\alpha S_T} \right)} \right] \text{ dB} \quad (3.50)$$

onde

* PT é a Perda de Transmissão da mufla, em dB

* S_s é a área de saída da câmara plenum em m^2

* θ é o ângulo de incidência na saída * d é a distância entre as portas de entrada e de saída * $\bar{\alpha}$ é o coeficiente médio de absorção do material fonoabsorSOR que reveste o interior da câmara * S_T é a superfície interna total da câmara, em m^2

Vejamos isso com um exemplo prático. Seja a câmara plenum da figura 3.133 que, vamos supor, tenha as seguintes características: * a câmara é cúbica com 3 metros de lado, * material fonoabsorSOR tem $\bar{\alpha} = 0,6$ (média entre 500 Hz e 2 kHz), * duto de entrada com área de $0,36m^2$

* duto de saída com área de $0,36m^2$

* $d = (32 + 2,42)^{1/2} = 3,84m$ * $\theta = \tan^{-1} (2,4/3) = 38,7^\circ$

* $S_T = 6 \times (3 \times 3) - 2 \times 0,36 = 53,28m^2$

Então podemos escrever:

$$PT = 10 \log 1/0,36 [(\cos 38,7^\circ / 2 \cdot \pi \cdot 842) + (1 - 0,6) / (0,6 \cdot 53,28)] = 21,0 \text{ dB}$$

E aí está a performance acústica de nossa câmara plenum exemplo.

Esses cálculos e fórmulas são bastante precisos para frequências cujos comprimentos de onda são inferiores às dimensões da câmara. A acuidade é da ordem de poucos decibels. Contudo, nas baixas frequências, cujos comprimentos de onda são mais elevados do que as dimensões da câmara, a expressão é pessimista e as atenuações reais ficam usualmente de 5,0 a 10,0 dB acima das marcas calculadas.

3.20.2 Muflas Reativas (ou Refletentes)



figura 3.134 câmara reativa típica Cysne Science Publishing Co.

A figura 3.134 mostra uma mufla reativa típica. Tais dispositivos consistem de um ou mais elementos não dissipativos que podem ser organizados em série e/ou em paralelo. Os elementos não dissipativos mais comuns na prática são câmaras de expansão, ressonadores com braços laterais e tubos perfurados.

O conceito operacional das muflas reativas é refletir de volta para a fonte de ruído uma

parcela da energia incidente. Além disso, parte da energia também é atenuada nos trajetos internos da mufla. Uma parcela da energia incidente também acaba sendo atenuada na própria fonte que a produz.

As aplicações mais comuns das muflas reativas são nas baixas frequências, nas quais as muflas dissipativas não são muito eficazes, como comentei. Outras aplicações comuns das muflas reativas é quando o emprego das muflas dissipativas se torna perigoso por possibilidade de desintegração física ou mecânica do material fonoabsorvor.

O uso mais recomendado para as muflas reativas é para conter o ruído de máquinas caracterizado por tons puros. Isto porque as muflas reativas podem ser sintonizadas de sorte que na frequência de sintonia a eficácia do dispositivo é muito elevada. O preço a pagar é que fora da sintonia a performance acústica praticamente não existe. Recurso para superar esse inconveniente é combinar uma certa quantidade de elementos reativos em série ou em paralelo de modo a oferecer uma perda de transmissão com espectro mais amplo e de forma bem mais uniforme.

3.20.2.1 Câmara de Expansão A figura 3.134 anterior mostra uma típica câmara de expansão. Esta é provavelmente a forma mais simples de todas as muflas reativas.

Note que o ruído caminha por um tubo ligado numa câmara cujas dimensões são bem superiores ao diâmetro do tubo. Assim, quando o ruído penetra na câmara maior ele abruptamente fica sujeito a se propagar através de uma área de seção transversal bem maior do que ocorria até então. Na saída ocorre o processo inverso.

O comprimento da câmara maior pode ser ajustado para que as ondas refletidas na parede oposta à da entrada cancelem as ondas incidentes. Por essa razão esse dispositivo é muito mais eficaz quando operando com frequências discretas.

Do ponto de vista de uso prático, as câmaras de expansão podem ser empregadas em dutos de quaisquer formatos, em sistemas de exaustão, em sistemas de suprimento de ar, em artefatos desenhados para transportar ar como em sistemas de ventilação e de condicionamento de ar, bem como em linhas de sucção de compressores.

A Perda de Transmissão das câmaras de expansão é definida como a diferença entre o nível de pressão sonora medido na entrada da câmara e o nível de pressão sonora medido em sua saída.

Essa PT pode ser antecipada pela expressão:

$$PT = 10 \log \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{s_C}{s_E} - \frac{s_E}{s_C} \right)^2 \left(\sin^2 \frac{2\pi L_C}{\lambda} \right) \right] \quad (3.51)$$

onde

* PT é a Perda de Transmissão, em dB, * S_C é a área da seção transversal da câmara, em m^2

* S_E é a área da seção transversal do tubo de entrada na câmara, em m^2

* L_C é o comprimento da câmara, em metros, e * λ é o comprimento de onda do som incidente Essa expressão aplica-se apenas e tão somente a casos em que a área da seção transversal é menor do que o comprimento de onda da frequência incidente. Vale observar que quando o comprimento de onda da câmara é igual a $\lambda/2$, $3\lambda/2$, etc., a PT da câmara torna-se nula.

Convém observar algumas práticas para construir as câmaras de expansão, como segue: * 1 – quanto maior for a relação S_C/S_E mais elevada será a PT

* 2 – o comprimento da câmara maior controla a frequência que sofrerá máxima atenuação * 3 – aumentar a velocidade do fluxo médio na mufla em até cerca de 30 m/s ajuda bastante a aumentar a PT

* 4 – convém evitar superfícies muito grandes na construção da câmara maior já que essas superfícies podem vibrar e produzir ruído não computado nas expressões anteriores * 5 – usando construção metálica, um provável limite de atenuação das câmaras de expansão é cerca de 40,0 dB. Valores superiores exigem chapas de ferro fundido de espessura considerável ou construções com elementos bem pesados, a exemplo de tijolos caipira maciços * 6 – quando é preciso atenuar uma banda de ruídos mais ampla é possível empregar várias câmaras de expansão organizadas em série, cada uma delas sintonizada para uma dada frequência.

Vamos a outro exemplo de fixação de câmara de expansão. Imagine uma câmara cilíndrica com comprimento de 25 centímetros e diâmetro 20 centímetros. O ruído que queremos atenuar é 250 Hz, o diâmetro dos tubos na entrada e na saída da câmara é 8 centímetros. A temperatura na saída da câmara é 80°C.

Nessa temperatura a velocidade do som é aproximadamente $V_s = 20\sqrt{273 + 80} = 376\text{m/s}$

Então o comprimento de onda será $\lambda = v/f = 376/250 = 1,5\text{m}$

Podemos calcular

$$S_E = \pi (0,08/2)^2 = 5,03 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ e } S_C = \pi (0,2/2)^2 = 0,0314 \text{ m}^2$$

Fazendo uso da expressão 3.51 vem:

$$PT = 10 \log \left\{ 1 + \frac{1}{4} \left[\frac{0,0314}{5,03 \cdot 10^{-3}} - \frac{5,03 \cdot 10^{-3}}{0,0314} \right]^2 \operatorname{seno}^2 \left[\frac{2\pi \cdot 0,25}{1,5} \right] \right\} = 9,0 \text{ dB}$$

3.20.2.2 Mufla de Cavidade

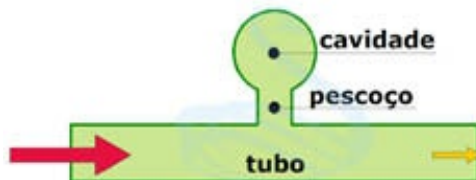


figura 3.135 mufla de cavidade Cysne Science Publishing Co.

A mufla de cavidade exemplificada na figura 3.135 é um tubo comum contendo um apêndice. Trata-se de um pequeno volume físico ligado ao tubo por meio de um pescoço. Qualquer semelhança dessa protuberância com os ressonadores de Helmholtz não é mera semelhança. Tanto que esse tipo de mufla também é denominado mufla com ressonador Helmholtz.

Quando um tom puro se propaga pelo tubo há compressões e rarefações se alternando no trajeto. Variando os parâmetros do ressonador, como o volume V , o volume v do pescoço e a área A de entrada do pescoço, é possível sintonizar o ressonador para qualquer frequência desejada. Se essa sintonia for coincidente com a frequência do tom puro que se propaga pelo tubo haverá “cancelamento” acústico da onda incidente com atenuação da energia. O termo cancelamento foi entre aspas porque na prática não ocorre o cancelamento, mas uma atenuação de certa monta.

Portanto, essa forma de mufla é muito eficaz, mas apenas na frequência de sintonia e num pequeno entorno de frequências que a ladeiam. Como sugere o desenho da figura, o tubo não é afetado por obstáculos físicos, o que preserva o fluxo de energia da onda incidente.

A redução de energia desse dispositivo decorre da pequena coluna de ar que se situa no pescoço do ressonador, e que é forçada a vibrar na frequência determinada pela abertura do pescoço, por seu volume e pelo volume da protuberância.

Para ver sobre o cálculo do ressonador de Helmholtz, por favor volte às discussões sobre esse dispositivo.

Como mencionei antes, é possível combinar uma certa quantidade de ressonadores de Helmholtz no mesmo tubo a fim de obter perda de transmissão com espectro bem amplo e linear.

3.20.2.3 Mufla Dispersiva (ou Difusiva) Esse tipo de mufla é um dispositivo que opera oferecendo uma resistência física ao fluxo de energia, reduzindo a pressão da propagação.

Portanto, trata-se de introduzir um obstáculo real no interior de um tubo, que pode ser um orifício ou uma outra forma qualquer de bloquear parcialmente a passagem.



figura 3.136 mufla difusiva Cysne Science Publishing Co.

A figura 3.136 ilustra dois casos de mufla dispersiva. Elas são usadas para atenuar o ruído em curso por tubos, inclusive em casos de válvulas de controle, de tomadas de saída e de dispositivos de controle de velocidade de fluxo.

Note que as muflas dispersivas reduzem a pressão da energia transportada. Logo, reduzem a velocidade como forma de controle do fluxo. Isso permite localizar a turbulência no ponto em que ela causa o menor ruído possível, induzido por meios aerodinâmicos. Por essa precisa razão as muflas dispersivas também são denominadas muflas pneumáticas.

Num sistema a gás, a intensidade do ruído do gás sendo transportado é proporcional à oitava potência da velocidade de transporte do gás. O que significa que uma muito pequena redução na velocidade é capaz de produzir enormes reduções dos níveis de ruído.

Tais muflas geralmente são construídas na forma de pequenas gaiolas metálicas perfuradas ou ranhuradas com materiais porosos aplicados na saída do dispositivo.

3.20.2.4 Mufla Difusora O princípio de operação da mufla difusora é receber um jato de ar de velocidade relativamente elevada para decompor esse fluxo em parcelas menores, todas portadoras de velocidade relativamente reduzida. Os mecanismos de difusão mais empregados são desenhos especiais dos tubos, que são organizados de forma hierárquica, além do uso de produtos porosos como metais ou plásticos sintetizados, telas metálicas ou peças metálicas com perfurações. Ou, ainda, estopas de arame de aço combinadas ou não com nódulos metálicos compactados.

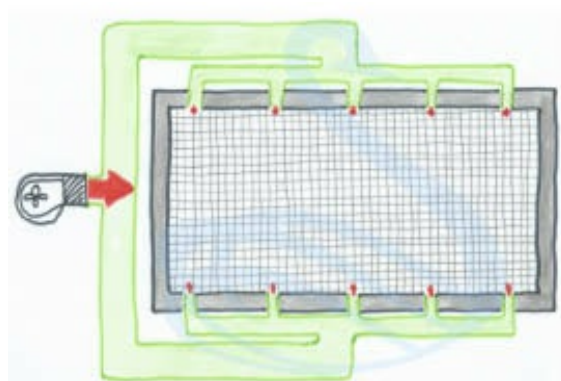


figura 3.137 mufla difusora Cysne Science Publishing Co.

A restrição no fluxo de entrada produz pressão de volta para o fluxo de entrada, responsável pela redução na velocidade do jato de entrada.

Quando essa pressão de retorno pode ser tolerada, a atenuação pode chegar com facilidade a mais de 30,0 dB. Nesses casos extremos a resistência ao fluxo de entrada é bem elevada.

A figura 3.137 mostra um caso de mufla difusora, onde se percebe como se dá a redução de ruído no interior do local atendido pelo, no caso desse exemplo, sistema de ventilação.

3.20.2.5 Outros Tipos de Muflas Há uma enorme quantidade de outros tipos de muflas, que perdem um pouco de interesse para efeitos deste capítulo. Os que quiserem se aprofundar nisso encontrarão farto material técnico disponibilizado pelos fabricantes de muflas.

3.20.3 Aspectos Gerais

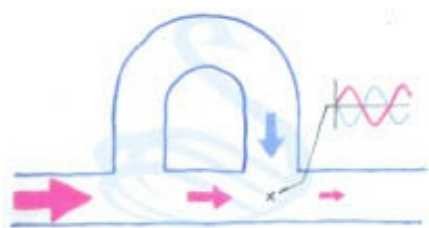


figura 3.138 mufla reativa com braço de interferência Cysne Science Publishing Co.



figura 3.139 mufla reativa com vários braços de interferência Cysne Science Publishing Co.

A figura 3.138 mostra um outro tipo de mufla reativa. No caso, um braço lateral derivado do tubo principal conduz uma parte da energia de entrada. Como mostra a figura, no ponto “X” se encontram parte da energia que segue pelo tubo, indicada com a cor magenta, e parte da energia que segue pelo braço, indicada com a cor azul.

É fácil projetar o comprimento do braço para que, numa dada frequência, essas duas parcelas de energia se encontrem na condição de fora de fase. O que as cancela. Esse cancelamento ocorre como ilustra a parte direita superior da figura. A rigor, o cancelamento continua a ser uma entidade teórica. Na prática, há sempre um resíduo de energia que acaba saindo após o braço. Esse resíduo é indicado na figura com a seta menor de cor magenta.

Como mencionado anteriormente, é possível aumentar bastante a banda de frequências de atenuação de ruído desse tipo de mufla. Para tanto, os elementos não dissipativos podem ser organizados em série e/ou em paralelo. No caso da figura 3.139 a organização é em paralelo. A figura mostra os pontos “X” onde se dão os cancelamentos de frequências diferentes.

3.20.3.1 Efeitos da Temperatura Usualmente as especificações das muflas são estabelecidas para determinadas condições de pressão e temperatura. Entretanto, muitos desses dispositivos se destinam a trabalhar com fluxo de gases em temperaturas muito elevadas. Nesses casos é preciso considerar que a velocidade do som aumenta com a temperatura. O que é importante levar em conta ou os cálculos de sintonia, baseados na velocidade de propagação do som, podem se alterar ao longo do tempo e as muflas podem deixar de se comportar como esperado.

3.20.3.2 Entrada de Ar O ar apresenta a tendência natural e peculiar de seguir as partes externas das curvas. Assim, mais ar tende a passar através dos acessos próximos às saídas dos tubos. Isso pode produzir uma variação interna de pressão nas muflas, com a consequente produção de ruídos. Bons projetos de muflas compensam esse inconveniente de forma a evitar o incremento não desejado de ruído produzido por esse mecanismo.

3.20.3.3 Contaminação Este autor já projetou muflas para uso em ambientes muito empoeirados, para uso em locais com gases altamente corrosivos, em locais com particulados de graxa e vapores de óleo, além de tantos outros agentes contaminantes. Nesses casos torna-se mister selecionar todos os materiais usados na fabricação das muflas de modo que eles não sejam atacados pelas condições ambientais.

O bom projeto de mufla deve prever formas de limpeza dos elementos do dispositivo, incluindo substituições de elementos. Tal como ocorre com os filtros dos sistemas de ar condicionado automotivos.

3.21 SISTEMAS DE AR CONDICIONADO E VENTILAÇÃO

Como tive oportunidade de mencionar anteriormente neste mesmo capítulo, os sistemas de ar condicionado e de ventilação são contumazes fontes de ruído indesejado, que muitas vezes prejudicam a própria atividade do local que atendem, quando não as impedem.

Assim sendo, vejo esta como uma grande oportunidade para tratar desse assunto de forma profissional.

Com efeito, no norte e no nordeste do Brasil esses sistemas são praticamente indispensáveis, de vez que a temperatura média é consideravelmente elevada. O mesmo ocorrendo no centro-oeste.

No verão 2014/2015 em São Paulo, capital, as temperaturas atingiram patamares preocupantes.

Quem sabe parte do aquecimento global tão anunciado?

Seja lá como for, vamos tratar de forma bem genérica de soluções que podem ser dadas ainda na etapa de projeto e, depois, de possíveis soluções que podem ser tentadas em casos de

sistemas já instalados.

Portanto, como forma de recuperar um pouco do terreno perdido.

Para muitos, ar condicionado é sinônimo de refrigeração de ar. Com efeito, um sistema de condicionamento de ar é capaz de refrigerar um ou mais ambientes, mas também pode aquecê-los, além de controlar a umidade relativa do ar e até mesmo de eliminar bactérias e odores por efeito de tratamento químico.

Como nosso interesse imediato está voltado para o controle de ruídos, esta análise preliminar vai ficar limitada aos sistemas de refrigeração.

Lembrando ainda que há muitos gêneros de sistemas de refrigeração, todos correspondendo a variações dos mesmos princípios termodinâmicos.

Vejam os então.

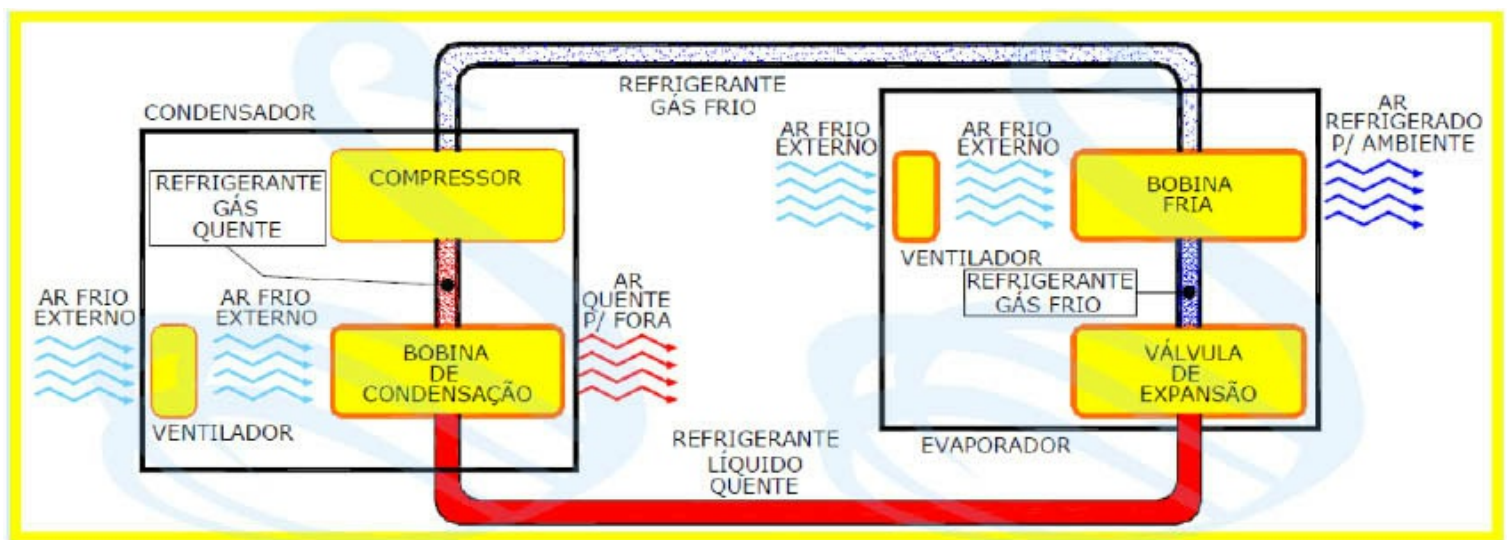


figura 3.140 sistema típico de ar condicionado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 3.140 esquematiza um sistema de ar condicionado com suas duas partes: o condensador e o evaporador.

O coração do sistema é o compressor, contido no condensador. Como uma bomba, ele bombeia o refrigerante, fazendo-o circular pelo sistema. A principal função do compressor é comprimir o refrigerante frio, recebido em forma de gás, de modo a aumentar-lhe pressão e temperatura.

O gás assim aquecido é então entregue à bobina de condensação. O nome “bobina” justifica-se porque o componente é construído a partir de uma longa serpentina feita com tubos ocos. É exatamente no interior desses tubos ocos que circula o refrigerante aquecido, em forma de gás. Um ventilador toma o ar externo na temperatura ambiente e a força através da serpentina. Esse ar absorve o calor do refrigerante que acaba condensando e adquirindo a forma líquida. Nesta etapa, mesmo na forma líquida o refrigerante ainda continua aquecido e com alta pressão.

O líquido aquecido deixa o condensador e segue para o evaporador, entrando pela válvula de expansão. Esta válvula é o verdadeiro cérebro do sistema. Monitorando a temperatura da bobina fria, que é outra serpentina, a válvula de expansão faz com que o líquido passe por um

micro orifício, o que provoca a rápida expansão do refrigerante. Essa manobra devolve ao refrigerante a forma de gás, o qual readquire tem a pressão bem reduzida e volta a adquirir a baixa temperatura desejada.

Novamente, um ventilador toma ar externo e o força através da serpentina da bobina fria. Dessa maneira, a bobina absorve o calor do ar, que se torna frio. O ar assim refrigerado é então encaminhado para o ambiente que se quer condicionar. O refrigerante volta para o compressor, completando o ciclo.

3.21.1 Sistemas de Ar Condicionado
3.21.1.1 Aparelho de Janela Os modelos de janela, todos essencialmente simples, reúnem num único gabinete o condensador e o evaporador. Sua capacidade fica limitada a aproximadamente 3 Toneladas de Refrigeração (TR) e seu nível de ruído típico costuma variar entre 52,0 e 65,0 dB.

$$1 \text{ TR} = 12000 \text{ BTU/hora} = 3025 \text{ kcal/hora}$$

3.21.1.2 Aparelhos Self-Contained Como no caso anterior, os modelos self-contained também reúnem num único gabinete o condensador e o evaporador. A capacidade usual deste tipo de sistema está entre 3 e 40 TR.

3.21.1.3 Aparelhos Super Self-Contained Estes modelos são empregados em casos de capacidades que superam 80 TR.

Como nos casos anteriores, eles também reúnem num único gabinete o condensador e o evaporador. Contudo, agora, o ventilador do evaporador é dimensionado para que o ar frio possa ser enviado aos locais desejados através de dutos apropriados.

3.21.1.4 Aparelhos Split Nos sistemas split o condensador e o evaporador são separados. Como ilustra a figura 3.140. Daí o nome split. Usualmente, os sistemas split possuem capacidade de refrigeração superior a 1 TR mas inferior a 5 TR. Contudo, alguns modelos modernos podem chegar até 40 TR, ou mesmo mais.

A grande vantagem dos sistemas split é que a parte mais ruidosa, o condensador, pode ser instalado relativamente distante do local onde o condicionamento é desejado. Nos modelos mais avançados o evaporador é equipado com ventiladores relativamente silenciosos.

3.21.1.5 Sistemas Centrais com Instalação Central



figura 3.141 a torre de resfriamento utilizada em sistemas de ar condicionado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Estes sistemas são empregados em grandes espaços, onde os modelos vistos até aqui não são recomendados.

Para a instalação dos sistemas centrais é preciso destinar um espaço para a “casa de máquinas”, com compartimentos separados para ventiladores, unidade condensadora, bombas, *etc.*

O resfriamento geralmente é feito por torres, como ilustra a figura 3.141. As torres podem resfriar empregando condensadores evaporativos ou a ar. O típico sistema central ocupa algo como 1 m²/TR.

No Brasil, a distribuição mais comum de ar em sistemas centrais é feita em baixa pressão. O que é uma vantagem do ponto de vista acústico, já que os níveis de ruído assim produzidos são relativamente reduzidos em comparação com a distribuição com médias e altas pressões.

3.21.1.6 Sistemas Centrais com Serpentinhas de Água Gelada Descentralizadas e Fan-Coils
Quando não se dispõe de grandes áreas físicas exigidas pelos sistemas centrais, os sistemas com fan-coils podem ser uma excelente opção.

O aumento dos pontos de refrigeração reduz a necessidade de dutos, podendo, em casos extremos, chegar a eliminá-los completamente.

Em sistemas de até 220 TR a água gelada é geralmente produzida por resfriadores denominados “chillers” ou “turbo-chillers”. Acima de 220 TR torna-se mais conveniente produzir a água gelada em unidades centrífugas.

Os preços finais destes sistemas são relativamente baixos em razão da produção em escala de inúmeros tipos e formatos de fan-coils, que em poucas palavras são circuladores de ar.

3.21.2 O Projeto O projeto do ar condicionado pode ser definido como o conjunto de atividades que começa com a definição do sistema mais adequado para cada utilização, seguido do dimensionamento completo do sistema.

Um bom projeto é sempre desenvolvido à luz das reais necessidades de cada aplicação. Assim, esta peça técnica é um dos meios mais eficazes de se assegurar que os ruídos produzidos pelo sistema de condicionamento estarão realmente sob controle.

Infelizmente, na maioria das vezes o projetista não leva em consideração a questão dos

ruídos. Isso ocorre por duas razões principais: * o controle de ruídos geralmente significa um pequeno aumento no investimento inicial * nem todos os projetistas de sistemas de ar condicionado possuem os conhecimentos de acústica capazes de garantir o efetivo controle de ruídos

3.21.3 A Real Dimensão dos Ruídos

Parece óbvio que ao pensar nos ruídos provocados por um determinado item num ambiente qualquer obriga a considerar parte integrante da equação o ruído de fundo que caracteriza o ambiente em questão.

Exemplificativamente, não faz qualquer sentido deixar de instalar um equipamento numa passagem interna para pedestres apenas porque esse equipamento produz ruído de 50 dB, quando o típico ambiente supera longe os 80 dB.

Logo, os níveis de ruído de fundo dos ambientes fechados determinam a dimensão dos ruídos provocados pelo sistema de ar condicionado. Torna-se evidente que os níveis de ruído de um sistema de ar condicionado projetado para um shopping center, plenamente toleráveis no shopping, é absolutamente intolerável num estúdio.

Esse fato nos obriga a estimar os ruídos de fundo dos ambientes com os quais vamos trabalhar.

Para a maioria dos ambientes os níveis de ruído de fundo são usualmente estabelecidos em termos de curvas NC (Noise Criteria), assunto tratado no tópico 3.11. Onde se encontra a figura com as curvas NC.

A curva NC 10 é própria para estúdios de gravação mais aprimorados. Para estúdios de gravação mais comuns aplica-se a curva NC15. Já para estúdios construídos com orçamentos mais apertados a curva NC 20 ainda é um limite tolerável.

Não se recomenda adotar curvas acima da NC 20 para estúdios em razão dos atuais equipamentos digitais, que possibilitam a obtenção de gamas dinâmicas superiores a 100 dB.

A tabela 3.5, ainda do tópico 3.11, indica as curvas NC mais comumente recomendadas para diversos ambientes.

3.21.3.1 Ruídos dos Ventiladores

Uma parcela ponderável do ruído global produzido pelos sistemas de condicionamento de ar é proveniente dos ventiladores.

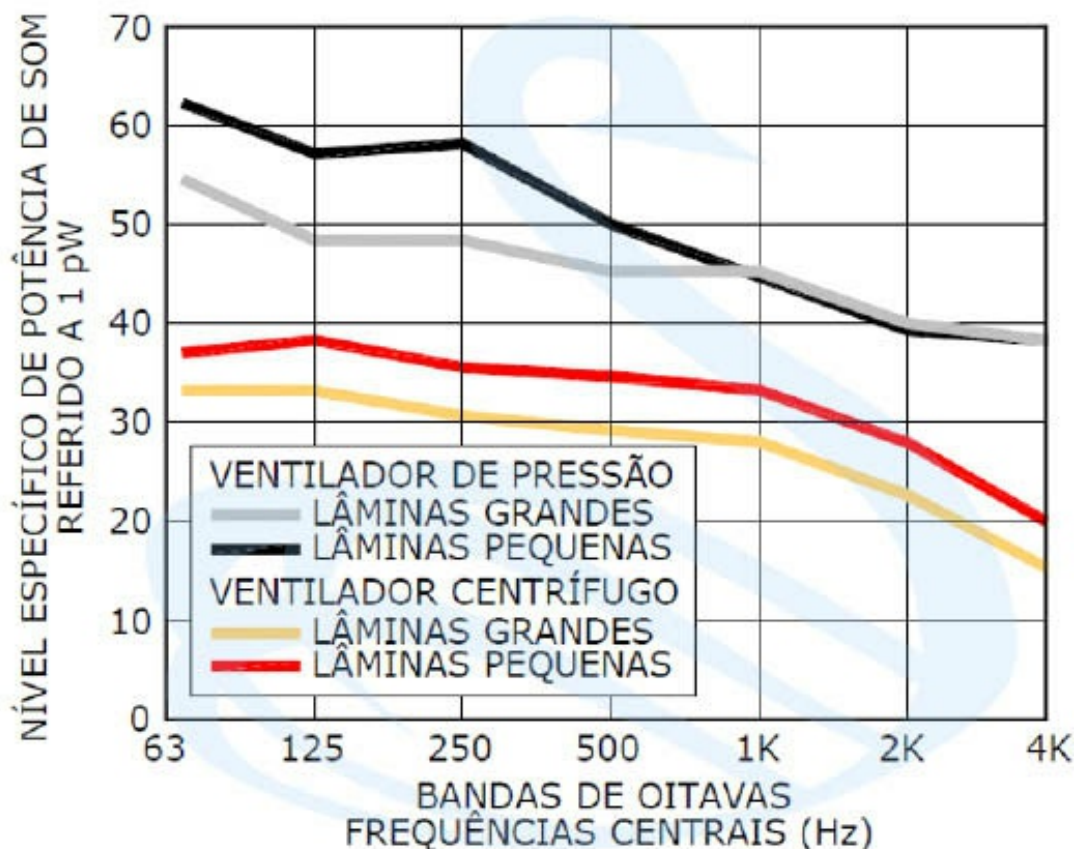


figura 3.142 níveis de potência de som medidos na saída dos ventiladores empregados em sistemas de ar condicionado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como era de se esperar, esses ruídos estão relacionados com o volume de ar deslocado pelas pás dos ventiladores e pela pressão típica de trabalho.

A figura 3.142 relaciona os ruídos com os parâmetros citados para os casos específicos de dois tipos mais comuns de ventiladores empregados em sistemas de ar condicionado.

O termo “nível específicos de potência de som” da figura significa que as medidas estão referidas a uma condição internacional padrão, que é de 1 pé cúbico por minuto (volume de ar deslocado) e 1 polegada de água (pressão de trabalho).

Este padrão internacional possibilita que os ruídos de praticamente quaisquer ventiladores possam ser comparados diretamente.

A figura mostra claramente que pás maiores são mais silenciosas que pás pequenas e que os ventiladores centrífugos são mais silenciosos que os de pressão.

Como imagino que muitos possam ter uma certa dificuldade para lidar com níveis de potência, apresento a seguir expressões capazes de converter níveis de potência em níveis de pressão sonora (dB SPL) e vice-versa.

$$\text{dB SPL} = \text{nível de potência de som} - 5 \log V - 3 \log F - 10 \log d + 12,1$$

sendo

- V o volume físico da sala em m^3
- F a frequência central da banda de oitava em Hertz, e
- d a distância entre o ventilador e o ponto considerado, em metros

3.21.4 A Escolha do Local da Máquina O local escolhido para a instalação da máquina de ar condicionado determina a distância física que a separa dos locais de trabalho. Essa distância deve ser tão maior quanto mais ruidosa é a máquina e quanto mais rígida é a tolerância para com os ruídos na instalação em questão. De qualquer modo, a escolha da máquina do sistema de ar condicionado e do local de sua instalação são, provavelmente, as decisões que mais influenciam o caminho a seguir e que passos deverão ser dados em tudo o que refere ao controle de ruídos do sistema de ar condicionado. Essa assertiva baseia-se no fato de que os ruídos produzidos pelas diferentes máquinas abrangem um espectro de naturezas realmente muito amplo. Como dizia um professor de acústica que tive, o melhor local para a máquina do ar condicionado é no próximo município. Ou no seguinte, se possível.

Além de produzir ruídos, ao trabalhar, qualquer máquina de ar condicionado também produz vibrações mecânicas. Essas vibrações são transmitidas pelas estruturas sólidas com grande eficiência, o que também é um aspecto a ser considerado durante a escolha do local para a máquina. Com relação a estas vibrações, idealmente a máquina é instalada em outra edificação.

Para piorar as coisas, os fabricantes de sistemas de ar condicionado usualmente não oferecem dados consistentes de ruídos, como desejado pelo engenheiro de acústica. Senão, vejamos. Observe a figura 3.143.

Ela exhibe três curvas de ruídos espectrais correspondentes a diferentes máquinas de ar condicionado. Que por suas configurações chamei de rumble (curva preta), comum (curva vermelha) e hiss (curva verde). Embora as curvas sejam muito diferentes entre si, sua aferição dBA coincide. Eis porque os três fabricantes informam a mesma especificação para os ruídos gerados por seus produtos: 75 dBA.

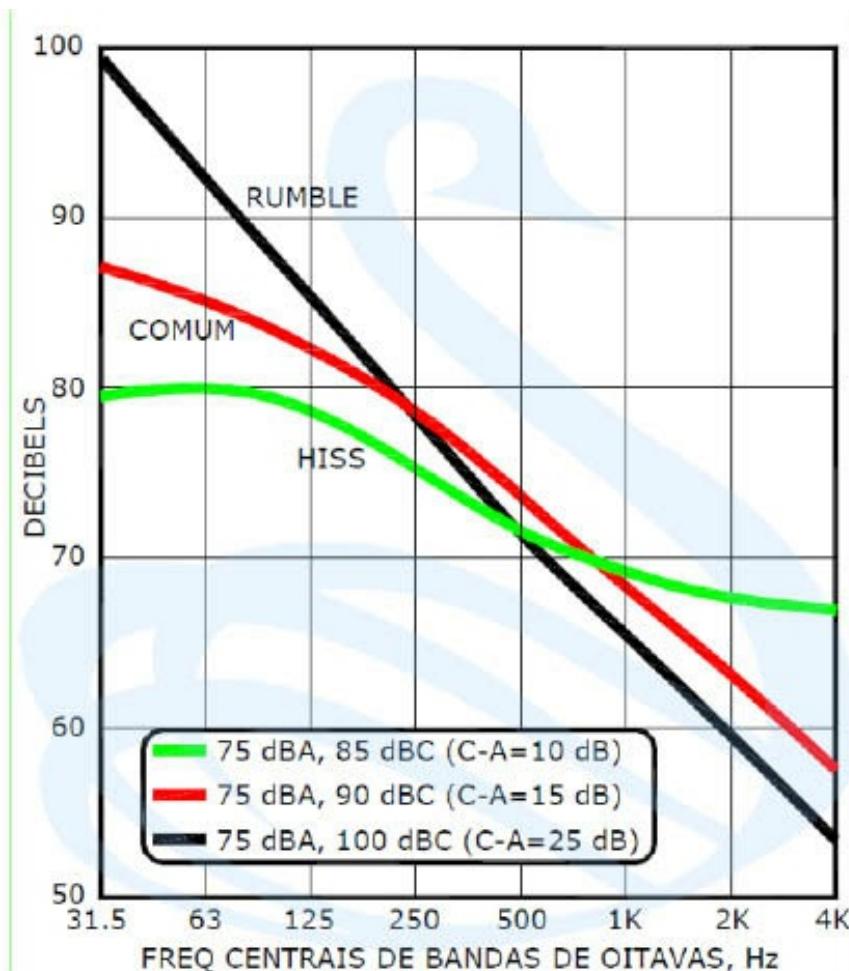


figura 3.143 curvas de ruído de três máquinas diferentes de ar condicionado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Eis porque muitas vezes a falta de cuidado com as figuras de ruído pode levar a erros de grandes proporções.

Com efeito, uma análise algo mais detalhada das curvas mostra que com ponderação C ao invés de A, as três curvas apresentadas diferem muito entre si. O que significa que os dados informados pelos fabricantes não possuem a riqueza de detalhes necessária para que o trabalho de controle de ruídos das máquinas possa ser planejado de forma tecnicamente adequada.

Diante desse quadro torna-se evidente que o mais correto a fazer é medir o ruído gerado pela máquina em questão com um analisador de espectro de tempo real. Do mesmo modo, é importante registrar a distância entre a máquina e o RTA nos momentos das medições.

3.21.5 Contenção Acústica A contenção acústica dos ruídos produzidos pelas máquinas de ar condicionado é feita com a finalidade de dificultar a propagação dos ruídos gerados pela máquina e suas partes.

Há duas formas mais comuns pelas quais se obtém esse isolamento acústico: tratando o espaço onde a máquina é ou será instalada, ou confinando-a em cabines especialmente desenhadas para apresentar altas perdas de transmissão. Nos dois casos não se deve impedir a passagem de ar, como requerido pelo sistema. O tratamento interno das paredes é geralmente um misto de reforço das características de isolamento com aplicação de materiais fonoabsorvedores.

Quanto às cabines, elas tanto podem ser construídas a partir de projetos, quanto podem ser adquiridas prontas. A figura 3.144 mostra uma destas cabines já vendidas prontas.



figura 3.144 cabine para isolamento acústico de máquina de ar condicionado cortesia CPP – Chemical Plants & Processes Em quaisquer casos devem ser previstas portas de acesso, portinholas de inspeção e passagens para ventilação e circulação de ar, como requerido para a operação adequada das máquinas. Devemos lembrar que por onde passa ar também pode passar ruído. Logo, qualquer forma de comunicação entre o interior da cabine e o exterior deve estar equipada com muflas e atenuadores de ruído, como necessário.

3.21.6 Desacoplamento Mecânico O desacoplamento mecânico da máquina de ar condicionado objetiva reduzir as vibrações provocadas pelo conjunto e, principalmente, sua transmissão através de estruturas sólidas, particularmente estruturas metálicas ou de concreto de qualquer prédio moderno.

O desacoplamento mecânico pode ser feito com isoladores de mola, com isoladores de materiais resilientes, com isoladores mistos, com o emprego de blocos de inércia e com várias combinações possíveis.

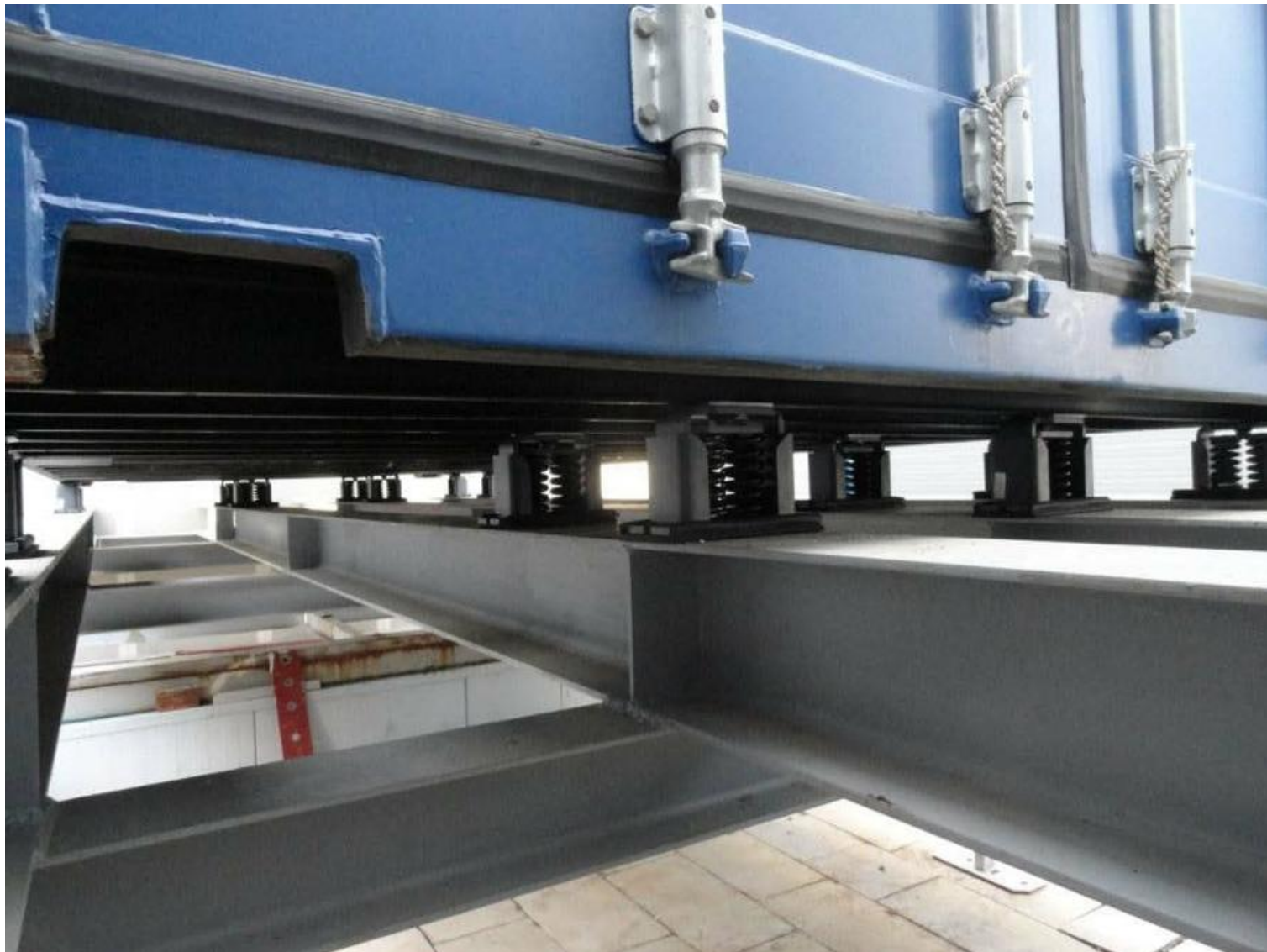


figura 3.145 desacoplamento com isoladores de mola cortesia Vibro – Vibration Control Products

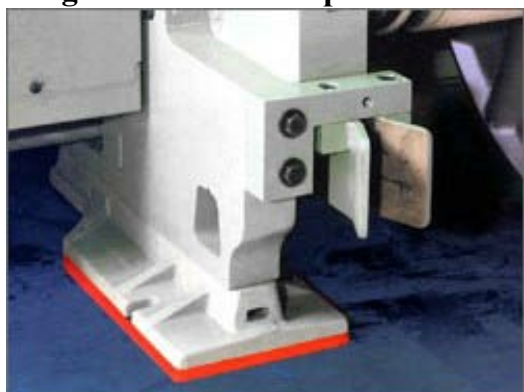


figura 3.146 desacoplamento com isoladores de neoprene cortesia Mason Industries Limited



**figura 3.147 isolador misto de mola e neoprene, modelo FDS 1
cortesia Kinetics Noise Control**

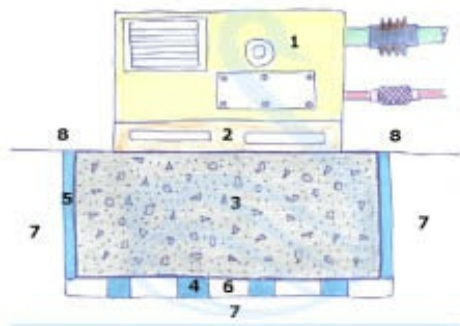


figura 3.148 desacoplamento com bloco de inércia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras acima ilustram alguns dos casos de desacoplamento mencionado. Na figura 3.148, 1 é a máquina, 2 são os suportes metálicos da máquina, 3 é o bloco de inércia, 4 são os calços ante vibratórios inferiores, 5 são os calços resilientes laterais, 6 são os colchões de ar, 7 são as fundações e 8 é o nível do piso.

Para que o desacoplamento de qualquer máquina seja eficaz é preciso que ela fique livre para se movimentar mecanicamente em resposta às forças vibracionais.

O grau de movimento da máquina depende de muitos fatores, a exemplo da compliância do suporte e da massa da máquina.

Em geral, o movimento necessário é tão menor quanto maior é a massa da máquina em relação às forças que provocam o distúrbio.

O aumento da massa de inércia da máquina ajuda a limitar o movimento necessário.

A maneira utilizada para se obter esse benefício é montar a máquina sobre um bloco de concreto, conjunto este que fica suportado por calços resilientes, como nas figuras anteriores.

O uso adequado do bloco de inércia implica na elaboração de cálculos de dimensionamento da deflexão necessária a ser conferida pelos suportes, e nas definições de tamanho, peso e forma física do bloco, que passa a fazer integrante do conjunto mecânico, então máquina-bloco.

Os blocos de inércia são muito eficazes em quaisquer instalações, mas são particularmente próprios para casos de fortes vibrações de baixas frequências onde há demanda por altos graus de deflexão.

Os blocos mais comuns possuem massa a partir de 1 tonelada, chegando facilmente a 10 toneladas.

É muito importante que todos os calços antivibratórios inferiores tenham exatamente as mesmas características mecânicas, o que ajuda a evitar vibrações resultantes de desbalanceamentos mecânicos e excentricidades.

Quando são empregadas máquinas com partes volantes ou sujeitas a movimentos rotativos, a possibilidade de introdução de vibrações rotacionais é elevada.

Entretanto, isso pode ser praticamente eliminado se os suportes da máquina estão na mesma horizontal ou acima do centro de gravidade do conjunto. Tal situação é facilmente obtida com os blocos de inércia e montagens estudadas, como ilustram as figuras 3.149 e 3.150.



figura 3.149 desacoplamento misto de máquinas de ar condicionado projetado para o auditório principal da diretoria executiva do Bradesco em Cidade de Deus, Osasco acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 3.150 bloco de inércia permitindo que os suportes fiquem alinhados com o centro de inércia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 3.21.3 Dutos

3.21.3.1 Forma Física dos Dutos Os dutos projetados para conduzir o ar em sistemas de ar condicionado estão sujeitos a vibrações. As quais, por sua vez, produzem ruído. Eis porque estamos interessados em reduzir ao máximo essas vibrações.

A intensidade das vibrações depende do tipo de seção transversal dos dutos e de suas características construtivas.

Esta intensidade de vibração cresce com a seguinte ordem de seções transversais: oval (girovais), circular, retangular e quadrada. Logo, do ponto de vista acústica os girovais são sempre a melhor opção.

3.21.3.2 Turbulência Aerodinâmica A passagem de ar pelos dutos sempre produz certo grau de turbulência aerodinâmica que, por sua vez, gera ruídos que acabam sendo transmitidos pelas paredes que formam os dutos.

3.21.3.3 Emendas

Obstáculos no caminho do fluxo de ar podem produzir fortes turbulências.

Por sua vez, essas turbulências aumentam os níveis de ruído. Se esses obstáculos ficam muito próximos, como é o caso numa grande quantidade de emendas de dutos, a turbulência formada no primeiro deles não tem tempo para se recompor e ainda em fase de formação encontra o segundo obstáculo.

Essa situação agrava muito a turbulência final, aumentando consideravelmente os níveis de ruído.

Eis porque devemos cuidar para que as emendas dos dutos sejam feitas de modo “invisível”, isto é, sem quaisquer obstáculos.

3.21.3.4 Curvas em 90 graus As curvas feitas em ângulos de 90° também são conhecidas por sua capacidade de provocar turbulência e ruídos. É o que mostra a parte esquerda da figura 3.151. Na parte direita da figura temos a solução clássica para o inconveniente.

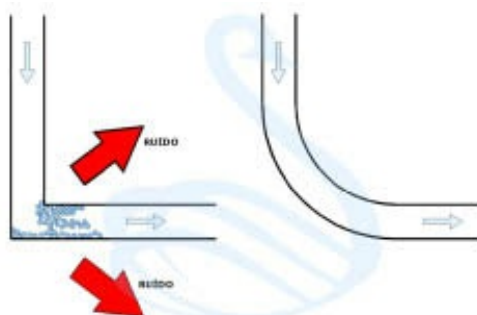


figura 3.151 curva de 90 graus à esquerda e solução à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

3.21.3.5 Atenuadores de Vazão Os atenuadores de vazão se constituem essencialmente em obstáculos para a passagem do fluxo de ar. A redução da vazão é o efeito desejado. E a turbulência, que pode atingir patamares extraordinariamente elevados, o efeito colateral.

Já vimos como atenuar vazão na parte de muflas e atenuadores, especialmente com os dispositivos que se valem de anteparos aerodinâmicos.

Considero absolutamente importante ressaltar que a aplicação prática desta técnica é realmente muito fácil, desde que se pense nela **antes da instalação**. Naturalmente, todas as soluções encontradas deverão ser discutidas com o projetista do sistema de ar condicionado e incluídas no respectivo projeto executivo.

Sem que essas poucas providências administrativas sejam objeto de cuidados por parte do projetista de acústica, dificilmente serão implementadas em campo.

3.21.3.6 Vazão e Velocidade Vazão é a medida da quantidade de ar que um sistema entrega ao ambiente por unidade de tempo, como 5 m³/segundo. Por outro lado, a velocidade é a medida do deslocamento do fluxo de ar por unidade de comprimento, como 5 metros/segundo.

Vejamos isso com exemplos práticos.

Suponha que a vazão que queremos de um sistema é 5 m³/segundo. Fixado esse parâmetro, a velocidade será, então, uma função da seção transversal do duto. Se esta for 1 m², a velocidade será 5 m/segundo. Se aumentarmos a seção do duto para 2 m² a velocidade cairá para 2,5 m/segundo. Mas se escolhermos uma seção transversal de 0,2 m² a vazão só poderá ser mantida se a velocidade aumentar para 25 m/segundo.

A vazão é uma característica do sistema, estabelecida por questões termodinâmicas. Por outro lado, a velocidade pode ser ajustada bastando que se escolha adequadamente a seção transversal do duto.

Sistemas de alta pressão e alta velocidade, equipados com dutos de seções transversais

reduzidas são relativamente econômicos. Mas tipicamente ruidosos. A redução do nível de ruído se dá na proporção aproximada de 16,0 dB para cada vez que a velocidade do ar cai para metade de seu valor original. O que significa duplicar a seção transversal do duto.

Instalações convencionais utilizam velocidades de 5 a 10 m/segundo. Em casos onde o ruído deve ser mantido muito reduzido (por exemplo em estúdios com nível de ruído ambiente curva NC15), recomendo limitar a velocidade do fluxo de ar a 1 m/segundo.

Veja na parte esquerda da figura 3.149 que os dutos têm seção transversal avantajadas, cujo objetivo é reduzir a velocidade sem alterações da vazão. Note também nessa figura que as chapas usadas não são planas, mas possuem desenhos de diamante. O objetivo dessa outra técnica é reduzir as magnitudes naturais de vibração das peças.

3.21.4 Formas de Desacoplamento dos Dutos
3.21.4.1 Desacoplamento da Estrutura Predial Os dutos projetados para conduzir o ar em sistemas de ar condicionado estão sujeitos a vibrações. As quais, por sua vez, produzem ruído. Eis porque estamos interessados em reduzir ao máximo essas vibrações.

O desacoplamento dos dutos de ar condicionado da estrutura predial objetiva evitar que as vibrações existentes nos dutos sejam transmitidas pelas estruturas sólidas, que sejam elas de concreto, quer sejam metálicas.

O desacoplamento pode ser implementado de inúmeras formas. Em todas elas são empregados suportes, molas supressoras de vibração e equivalentes.

A figura 3.152 ilustra algumas dessas formas, tomando um tubo simples como exemplo, para simplificação de desenho.



figura 3.152 diferentes maneiras de desacoplar acusticamente os dutos dos sistemas de ar condicionado cortesias: à esquerda - Salex Acoustics Ltd, ao centro – Vibro, Vibration Control Products e à direita – TVS Total Vibration Solutions Certamente há inúmeras outras maneiras de obter esse mesmo desacoplamento, por exemplo mediante uso de cintas elásticas, de mensolas equipadas com calços resilientes, com emprego de cabos de aço, de cintas de poliéster e tantas outras técnicas.

3.21.4.2 Desacoplamento Dimensional Existem duas formas principais de desacoplamento

dimensional dos dutos.

A primeira refere-se ao desencorajamento das vibrações naturais nos próprios dutos. O que se faz aplicando os suportes mecânicos em diferentes distâncias.

A figura 3.153 ilustra o conceito, mostrando a forma convencional acima, que favorece a formação e a manutenção das vibrações, e a forma recomendada do ponto de vista acústico, abaixo.

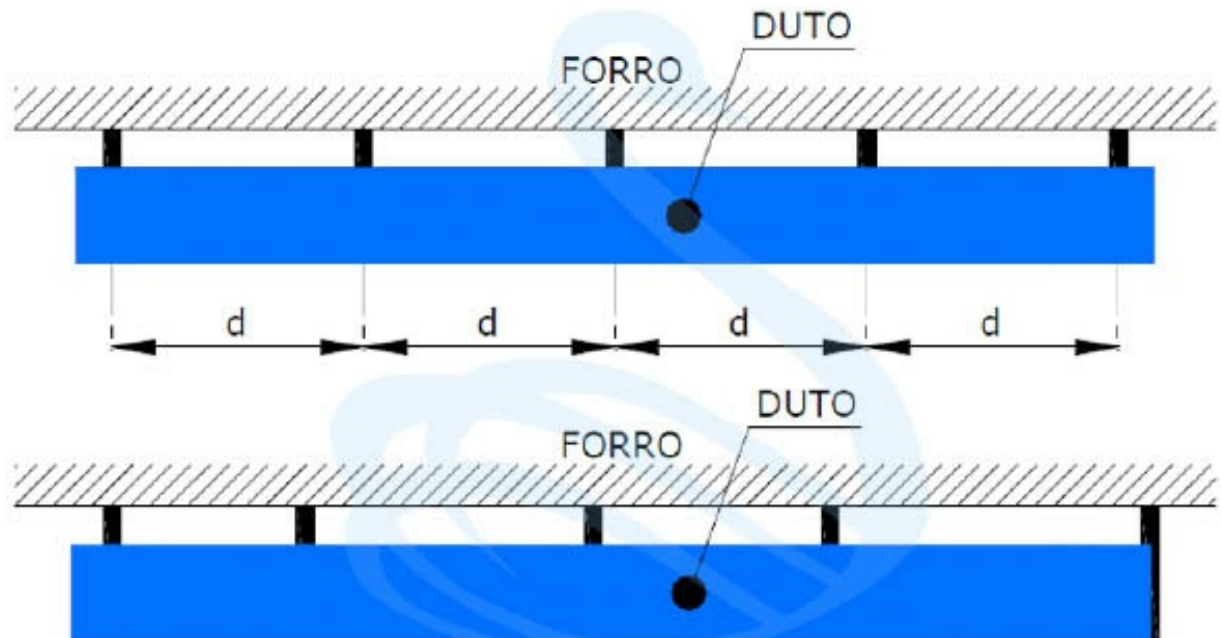


figura 3.153 formas convencional (acima) e recomendada (abaixo) de fixar dutos visando redução das vibrações acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A segunda forma diz respeito a quebrar a continuidade estrutural dos dutos. Para tanto, corta-se um pequeno segmento do duto, algo como 4,0 centímetros, e as partes são unidas com elementos resilientes, a exemplo de luvas de couro, borracha ou lona, e ainda, trança de fios de aço.

Também é muito comum a utilização de acoplamento flexível, especialmente na forma de tranças de fios metálicos.

Como ilustra a figura 3.154.



figura 3.154 desacoplamento dimensional de duto de ar condicionado com uso de luvas e couro – projeto para Bradesco – Diretoria Executiva, Cidade de Deus, Osasco acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 3.21.4.3 Alinhamento

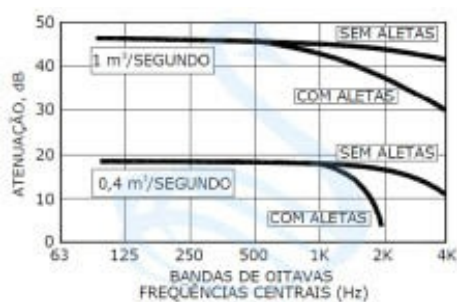


figura 3.155 atenuação obtida com atenuadores absorsores rígidos com espessura de 25 mm acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O alinhamento dos dutos é o processo de aplicar-lhes materiais capazes de amortecer as vibrações mecânicas e/ou de atenuar os ruídos por elas produzidos. Em geral, o alinhamento deve ser feito internamente. E importante colocar, nenhum material utilizado no alinhamento dos dutos deve obstruir a passagem de dispositivos de limpeza, especialmente os robôs utilizados atualmente. O que significa que materiais como a lã de vidro, mesmo ensacada, não deve ser utilizada.

Atualmente existem materiais adequados para alinhamento interno dos dutos, que podem ser adquiridos na forma de painéis rígidos e de placas rígidas, com espessuras variando entre 20 e 40 milímetros. Estes materiais também se portam bem como isoladores térmicos, o que é sempre desejável. A atenuação aproximada que se obtém com o alinhamento interno de dutos retangulares com seção transversal de 930 cm² é o que mostra a figura 3.155.

3.21.4.4 Seção Transversal Variável Muitas vezes já encontramos instalados os dutos com seção transversal muito reduzida, tornando a substituição onerosa e praticamente impossível. Diante disso, é possível aplicar uma solução paliativa.

Redesenhar uma parte muito pequena do duto, nas proximidades das grelhas de insuflação. Nesse redesenho, a partir de uma certa distância das grelhas de insuflação a seção transversal

é feita progressivamente maior. Este artifício reduz a velocidade do ar junto aos pontos de entrega do ar condicionado, o que ajuda a reduzir os ruídos.

3.21.4.5 Muflas e Atenuadores Há inúmeras formas e modos de se atenuar ruídos, razão pela qual encontramos uma grande variedade de muflas e de atenuadores de ruídos próprios para sistemas de ar condicionado.

Começo mencionando as muflas reativas, caracterizadas pela mudança de área.

Favor voltar à figura 3.125 e texto correspondente.

Outrossim, as muflas circulares e retangulares também são muito utilizadas nos sistemas de condicionamento de ar e de ventilação.

Ainda outro tipo de atenuador muito usado em ar condicionado são os chamados ramais de distribuição.

Já discutimos esse dispositivo, ilustrado na figura 3.138.

3.21.4.6 Atenuadores de Linha O termo atenuador em linha tem origem na maneira como o dispositivo é introduzido nos dutos, ou onde requerido.

Que é o que ilustra a figura 3.156.

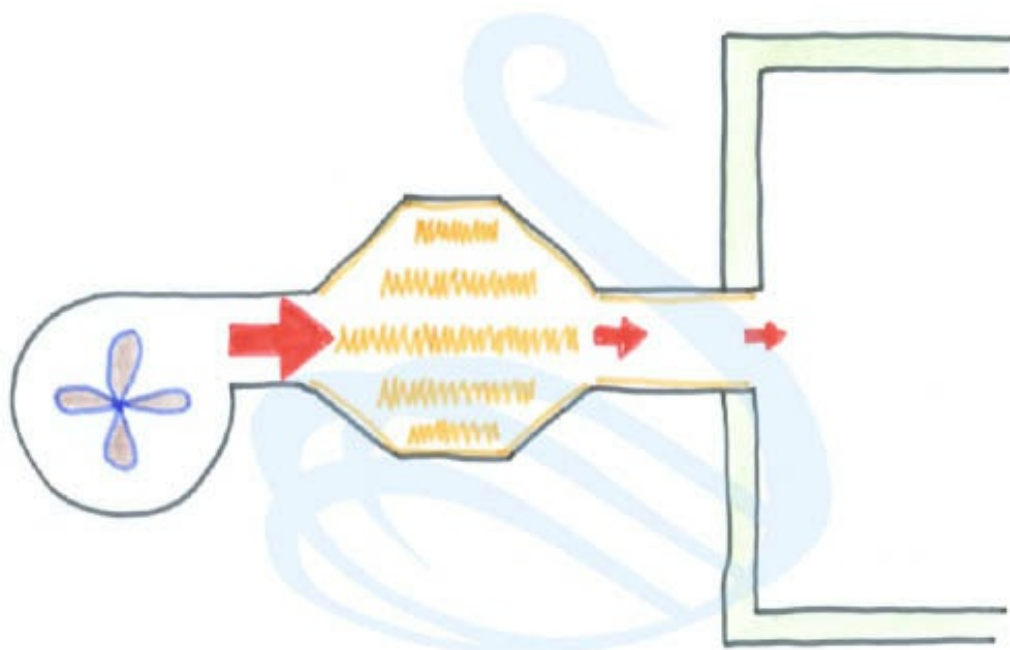


figura 3.156 atenuador em linha formado por pequena câmara de expansão e material absorvedor disposto em camadas na direção do fluxo de ar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne **3.21.4.7 Atenuadores por Absorção Retangulares** Provavelmente estes sejam os mais comuns e conhecidos entre todos os atenuadores de ruído empregados em sistemas de ar condicionado. Para detalhes sobre eles, consultar figura 3.127.

Esse tipo de atenuador combina as vantagens de simplicidade construtiva com a possibilidade de ser dimensionado para trabalhar somente nas baixas frequências, ou somente nas médias frequências, ou somente nas altas frequências ou, ainda, em qualquer segmento

desejado do espectro, incluindo as baixas, médias e altas e frequências.

Como mostra a figura 3.129, quanto mais espesso é o material absorsor aplicado mais baixa é a frequência de trabalho.

O lado direito da figura 3.129 mostra um atenuador por absorção de seção transversal retangular muito usado em sistemas de ar condicionado.

3.21.4.8 Câmaras de Expansão Naturais A figura 3.157 mostra uma instalação completa na qual foram projetadas duas câmaras de expansão, uma no pavimento térreo e outra no sótão. As setas de cor vermelha mostram claramente como os ruídos são atenuados.

Tais câmaras de expansão são uma forma de câmara plenum

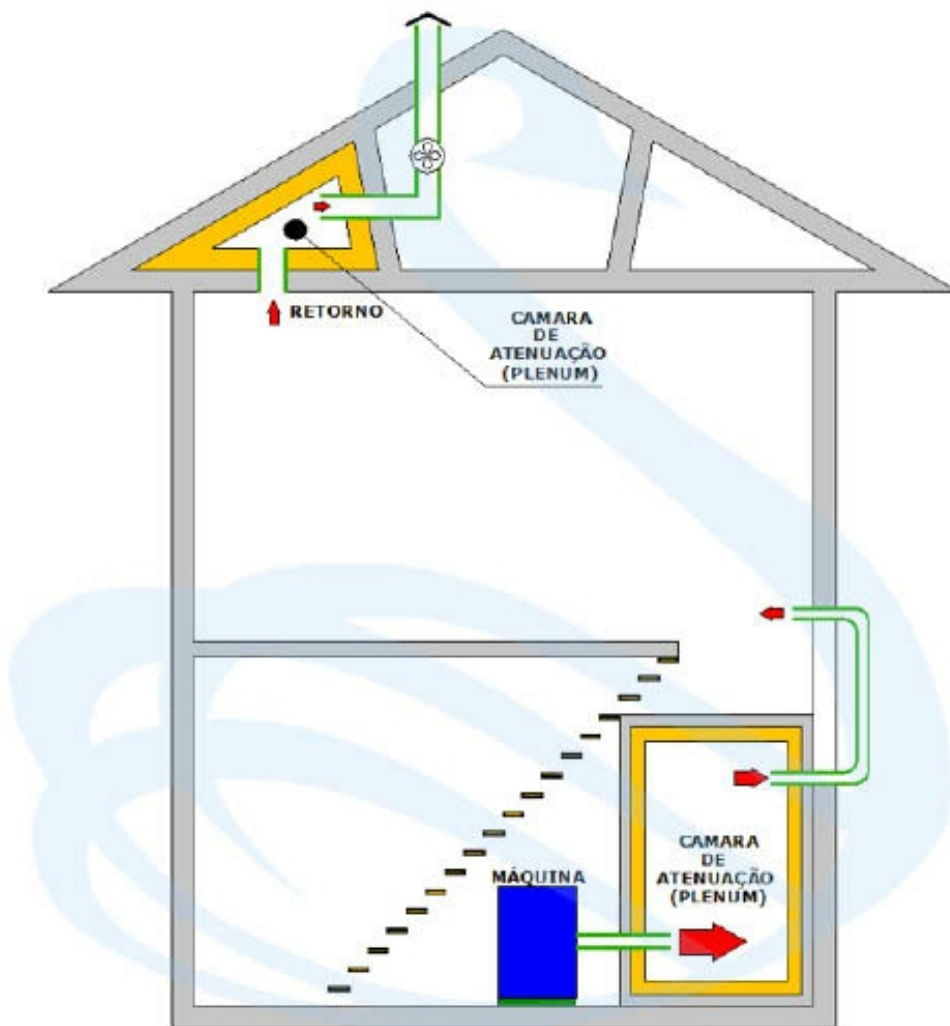


figura 3.157 instalação empregando câmaras de expansão, também chamadas câmaras de atenuação
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 3.21.4.9 Câmaras Plenum O conceito de Câmara Plenum é mais um conceito do que um termo utilizado em acústica e em construção civil. As figuras 3.132 e 3.133 e texto associado ilustram claramente esse conceito.

Como tal, ele pode ser aplicado a qualquer duto ou caminho exclusivamente projetado e construído para controlar o fluxo de ar em sistema de condicionamento de ar e de ventilação.

Em essência, o plenum é uma variedade da câmara de expansão.

Como ilustram as figuras mencionadas, a utilização do conceito no caso específico da acústica é relativamente simples.

3.21.4.10 Muflas Reativas com Braços de Interferência Ilustradas nas figuras 3.138 e 3.139, essas muflas operam de acordo com o mesmo princípio utilizado nos microfones direcionais.

O ruído é atenuado pelo encontro das ondas com deslocamento de fase, idealmente com oposição de fases (180°).

3.21.5 Escolha e Caminhamento das Rotas Os níveis finais de ruído dependem muito de como as rotas para o fluxo de ar dentro e fora das edificações é planejado.

A escolha pouco feliz e a falta dela costumam levar a resultados acústicos que acabam decepcionando de forma profunda.

Como ilustra a figura 3.158, os caminhos para o fluxo de ar também se tornam caminhos para a propagação dos ruídos, formando caminhos de comunicação entre cômodos adjacentes e próximos. Esses caminhos estão indicados com setas vermelhas. Com efeito, esta é uma das mais frequentes causas de reclamações de “vazamentos” em escritórios modernos e espaços em geral. Para o leigo, a identificação da causa é praticamente impossível, já que ele a confunde esse problema com a falta de isolamento das paredes e/ou portas.

A figura 3.159 mostra como o planejamento pode evitar a criação de caminhos de comunicação entre salas adjacentes e cômodos próximos.

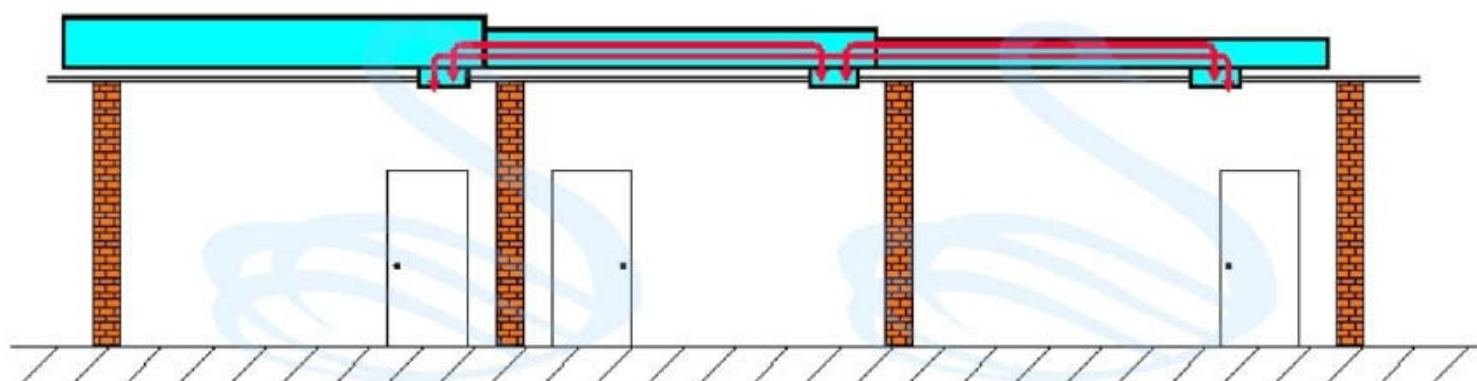


figura 3.158 caminhamento mal planejado para as rotas de fluxo de ar numa instalação de sistema de ar condicionado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

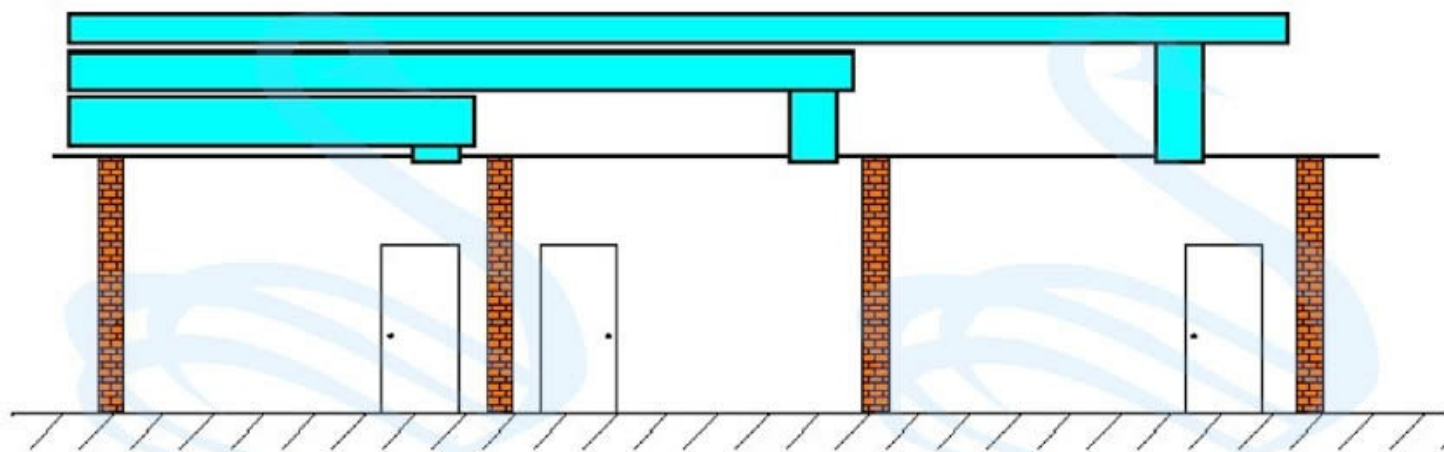


figura 3.159 caminhamento da figura 3.158 modificado para eliminar os “caminhos” de comunicação indesejados e assinalados com setas vermelhas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

de Insuflação Como ocorre com os demais componentes do sistema de ar condicionado, as grelhas podem ser, sozinhas, as responsáveis por nível de ruído bastante elevado.

O motivo para isso é a turbulência aerodinâmica causada pelo encontro do fluxo de ar, que se desloca com uma certa velocidade pelo duto, com o ar parado da sala.

Muitas vezes a turbulência sai de controle porque o fato natural pode ser agravado pelo encontro de um obstáculo capaz de produzir turbulências, como os encontrados na maioria das grelhas de insuflação.

3.21.6.1 Grelha Convencional Melhorada A figura 3.160 mostra, do lado esquerdo, a variedade convencional de grelha de insuflação e a turbulência concentrada abaixo do difusor piramidal central.

Do lado direito da figura está a grelha com as aletas redesenhadas para assegurar melhor difusão do ar e menos atrito com o ar do local.

Usando esse conceito bem simples é possível eliminar ou reduzir muito a formação concentrada de uma zona de subpressão – indicada na figura – que, por sua vez, acaba produzindo ruído audível em local muito inconveniente, já quem próximo de onde ficam as pessoas nos locais atendidos por esse tipo de sistema.

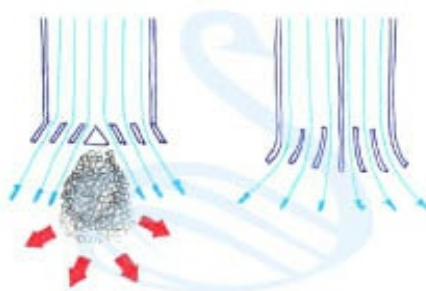


figura 3.160 grelha convencional à esquerda e grelha convencional redesenhada para melhor difusão
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 3.21.6.2 Grelha com Velocidades Diferentes

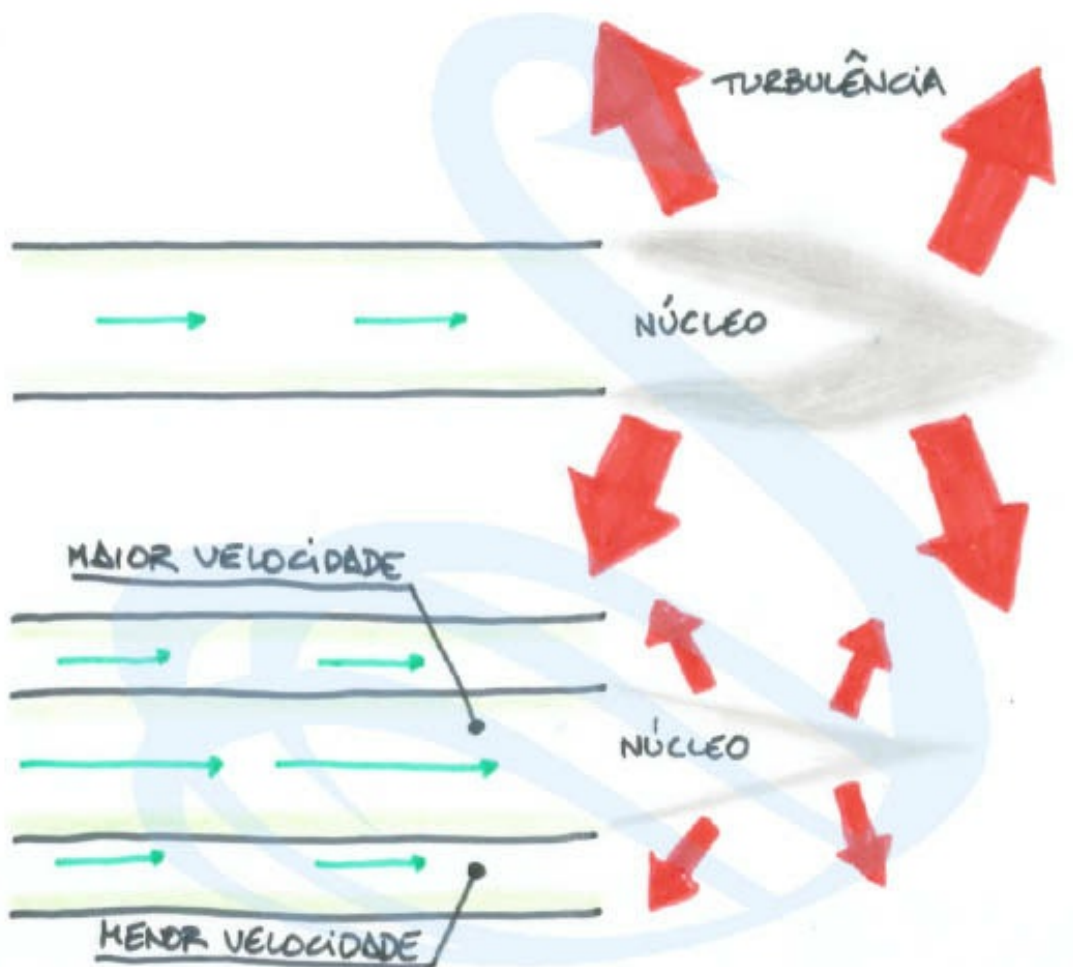


figura 3.161 grelha redutora de turbulência com vias de velocidades diferentes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra forma de reduzir os níveis de ruído na saída das grelhas de insuflação é desenhar dispositivos que conduzam o ar por caminhos diferentes, e com velocidades também diferentes em cada caminho.

Este processo é um tanto ou quanto sofisticado, mas os resultados costumam ser excelentes.

A figura 3.161 ilustra o conceito e ainda oferece uma ideia geral de como os ruídos podem ser atenuados com certa facilidade. A propósito, este é a técnica utilizada nos motores a jato das aeronaves modernas para controlar a produção de ruídos.

3.21.6.3 Grelha para Baixas Frequências Quando os ruídos são de baixas frequências, as grelhas de insuflação devem ter desenho especial de modo a reduzir a turbulência e o ruído que dela provém.

A figura 3.162 ilustra a técnica.

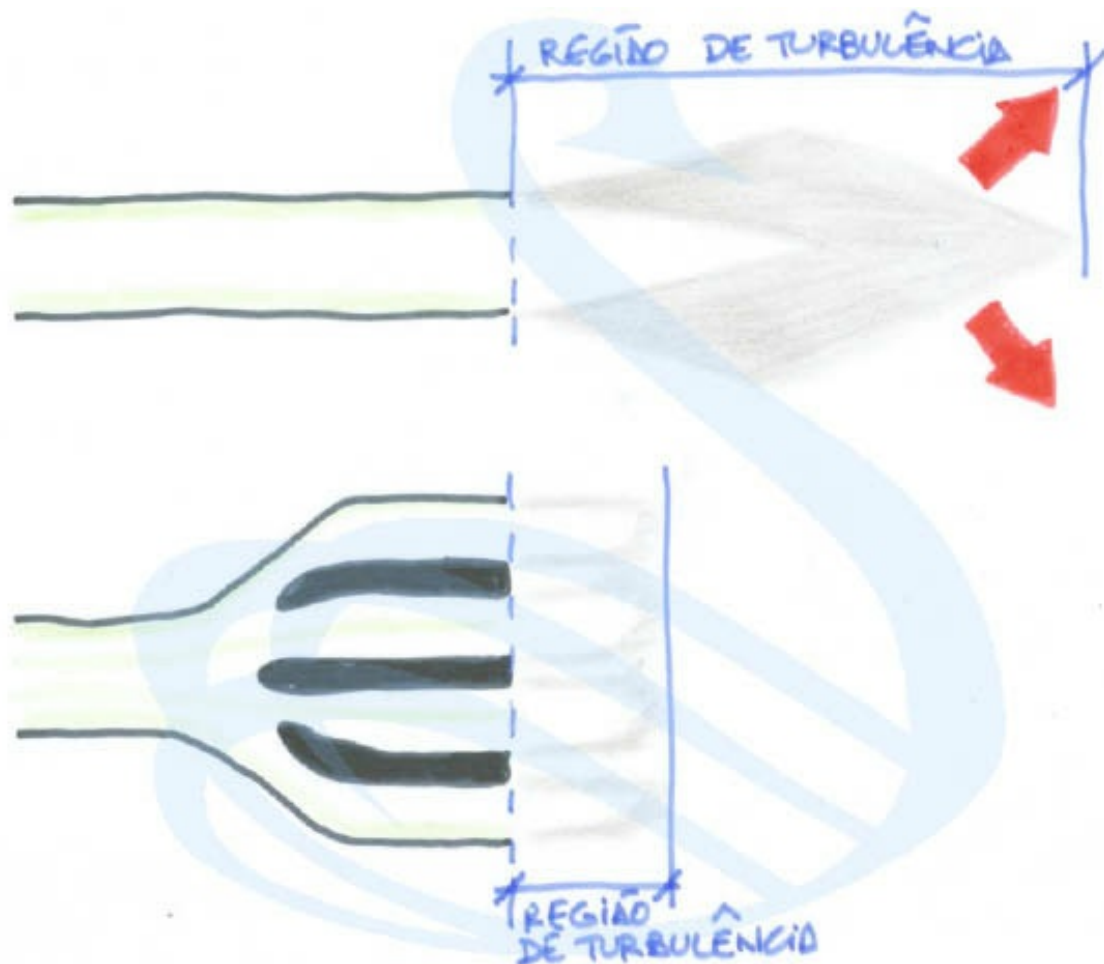


figura 3.162 grelha especialmente desenhada para atenuar ruídos de baixas frequências acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 3.21.6.4 Exaustão e Retorno de Ar Em muitos casos o retorno de ar do sistema de condicionamento de ar é feito por grelhas localizadas no forro, sendo que esta forma uma caixa fechada, limitada pelas paredes verticais, pela parte superior do forro falso e pela laje. Em algum ponto desta grande caixa há um duto para levar o ar viciado de volta para reprocessamento.

Assim, é preciso estar atento para a possibilidade desta grande caixa formar vias de comunicação como discutimos acima.

Com relação às grelhas, há algumas alternativas.

A mais sofisticada delas é própria para gabinetes, mas também pode ser aplicada a casos convencionais de exaustão ou de retorno de ar.

Também são comercializadas grelhas de exaustão de alta tecnologia, com capacidade elevada de atenuação de ruídos.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 4 **equipamentos de som**



Conteúdo do capítulo 4

4. EQUIPAMENTOS DE SOM

4.1 FONTES DE PROGRAMA

4.1.1 CD Players

4.1.2 Computadores

4.1.3 mp3 player

4.1.4 DATs

4.1.5 Gravadores MD

4.1.6 DVD-A

4.1.7 SACD

4.1.8 Decks Cassete e Gravadores de Carretel Aberto 4.1.9 Gravadores DCC

4.1.10 VCRs e Video Laser Players 4.1.11 Sintonizadores de FM

4.1.12 DSS

4.2 MICROFONES

4.2.1 Padrão de Captação 4.2.1.1 Onidirecionais 4.2.1.2 Direcionais – Figura de Oito

4.2.1.3 Direcionais ou Bidirecionais Assimétricos 4.2.1.4 Ultradirecionais ou

Microfones de Interferência 4.2.2 Elemento Gerador

4.2.2.1 Dinâmicos de Bobina Móvel 4.2.2.2 Dinâmicos de Fita (Ribbon) 4.2.2.3 Condensador

4.2.2.4 Condensador RF

4.2.2.5 Eletreto

4.2.3 Modo de Usar

4.2.3.1 Microfones de Mão 4.2.3.2 Microfones de Lapela 4.2.3.3 Microfones de Superfície 4.2.3.4 Microfones PZM

4.2.3.5 Microfones de Cabeça 4.2.3.6 Microfones para Instrumentos 4.2.3.7

Microfones Especiais 4.2.3.8 Microfones Supressores de Ruído 4.2.3.9 Microfones Pescoço de Ganso (Goose Neck) 4.2.4 Especificações

4.2.4.1 Impedância

4.2.4.2 Respostas de Frequência 4.2.4.3 Sensibilidade

4.2.4.4 Ruído Térmico e Relação Sinal/Ruído 4.2.5 Compatibilização e Resultados

4.2.6 Microfones Sem Fio 4.2.6.1 Transmissor

4.2.6.2 Receptor

4.2.6.3 Recepção com Diversidade 4.2.6.4 Frequências de Operação 4.2.7 Seleção de Microfones 4.2.8 Microfones Sem Fio e os Problemas de Espectro 4.3 MIXERS

4.3.1 Visão Geral

4.3.2.1 Mixers Analógicos 4.3.2.1 Módulos de Entrada 4.3.2.2 Módulos de

Subgrupo 4.3.2.3 Módulos Master 4.3.2.4 Capacidade do Mixer e Formas Físicas dos Módulos 4.3.2.5 Recursos e Funções Gerais dos Mixers 4.3.3 Tipos de Mixers 4.3.3.1 Mixer FOH 4.3.3.2 Mixer Monitor ou Mixer Monitor de Palco 4.3.3.3 Mixer PA 4.3.3.4 Mixer para Sistemas de Reforço de Som 4.3.3.5 Mixer para Touring 4.3.3.6 Mixer para Teatro 4.3.3.7 Mixer para Som ao Vivo (Live Sound Mixer) 4.3.3.8 Mixer para Concerto (Concert Mixer) 4.3.3.9 Mixer para Gravação (Recording Mixer) 4.3.3.10 Mixer de Pós Produção (Post Production Mixer) 4.3.3.11 Mixer para Remixagem (Remixing Mixer) 4.3.3.12 Mixer de Som para Vídeo (Sound for Video Mixer) 4.3.3.13 Mixer para Estúdio (Studio Mixer) 4.3.3.14 Mixer para TV 4.3.3.15 Mixer para Radio No Ar (On Air Radio Mixer) 4.3.3.16 Mixer para Produção de Rádio (Radio Production Mixer) 4.3.3.17 Mixer para Radiodifusão (Broadcasting Mixer) 4.3.3.18 Mixer para Gravação em Locação (Location Recording Mixer) 4.3.3.19 Mixer Amplificado (Powered Mixer) 4.3.3.20 Mixer para DJ (DJ Mixer) 4.3.3.21 Mixer Multifunção (Multipurpose Mixer) 4.3.3.22 Mixer Clássico (Classic Mixer) 4.3.3.23 Mixer para Microfones 4.3.3.24 Mixer de Linha 4.3.3.25 Mixer automático 4.3.4.1.1 Automação 4.3.4.1 O Início de Tudo 4.3.4.2 Automação dos Faders com VCAs 4.3.4.3 Automação dos Faders com Motores 4.3.4.4 Automação Total dos Faders 4.3.4.5 Automação dos Mutes 4.3.4.6 Dados e Cenários 4.3.4.7 Mixer Analógicos Digitalmente Controlados 4.3.5 Mixers Digitais 4.3.5.1 Mixer Digitais Autênticos 4.3.5.2 Superfícies de Controle 4.3.5.3 Mixer Software 4.4 PROCESSADORES DE SINAIS

4.4.1 Equalizadores

4.4.1.1 O Básico dos Filtros 4.4.1.2 Tipos Fundamentais de Filtros 4.4.1.3 Shelving e Peak/Dip 4.4.1.4 Reforço e Atenuação 4.4.1.5 Parâmetros dos Filtros 4.4.1.6 Filtros e sua Matemática 4.4.1.7 Características de Desempenho dos Filtros 4.4.1.8 Filtros de Fase Mínima 4.4.1.9 Filtros de Q Constante e Suas Características 4.4.1.10 Combinação de Filtros 4.4.1.11 Filtros Digitais 4.4.1.12 Considerações Gerais Sobre os Equalizadores 4.4.1.13 Duplo Controle Tonal 4.4.1.14 Triplo Controle Tonal 4.4.1.15 Duplo Controle Tonal com Seleção de Frequências 4.4.1.16 Triplo Controle Tonal com Seleção de Frequências 4.4.1.17 Equalizadores de Quatro Bandas 4.4.1.18 Equalizadores Gráficos 4.4.1.19 Equalizadores Paramétricos 4.4.1.20 Equalizadores Paragráficos 4.4.1.21 Equalizadores Transversais 4.4.1.22 Aplicações dos Equalizadores 4.4.2 Compressores

4.4.2.1 Gama Dinâmica

4.4.2.2 O Envelope dos Sons 4.4.2.3 O Compressor como Processador 4.4.2.4 Parâmetros

4.4.2.5 Aplicação dos Compressores 4.4.3 Limitadores

4.4.4 Expansores

4.4.4.1 Limiar

4.4.4.2 Taxa de Expansão 4.4.4.3 Aplicações dos Expansores 4.4.5 Compansores

4.4.6 Noise Gates

4.4.6.1 Limiar

4.4.6.2 Taxa de Expansão 4.4.6.3 Atenuação (attenuation), Faixa (range), ou Profundidade (depth) 4.4.6.4 Tempo de Ataque 4.4.6.5 Tempo de Hold

4.4.6.6 Tempo de Recuperação (Release ou Recovery Time) 4.4.6.7 Vendo a

Sequência Completa 4.4.6.8 Cadeia Lateral e Filtros 4.4.6.9 Funções Automáticas

4.4.6.10 Aplicação dos Noise Gates 4.4.7 Delayers e Unidades de Reverberação

4.4.8 Redutores de Ruído 4.4.8.1 Dolby

4.4.8.2 dbx

4.4.8.3 Redutores Dinâmicos de Ruído 4.4.8.4 Redutores Digitais de Ruído 4.4.9

Supressores de Realimentação 4.4.10 Exciters e Harmonizers 4.4.11 Processadores Digitais de Efeito e Outros Efeitos 4.4.11.1 Slap Echo

4.4.11.2 Doubling

4.4.11.3 Chorus e Vibrato 4.4.11.4 Flanging

4.4.11.5 Resonant Flanging 4.4.11.6 Phasing

4.4.11.7 Pitch Shifting 4.4.11.8 Enhancing

4.5 AMPLIFICADORES

4.5.1 Aspectos Gerais

4.5.2 Especificações

4.5.2.1 Potência de Saída e Clipamento 4.5.2.2 Sensibilidade

4.5.2.3 Resposta de Frequência 4.5.2.4 Banda Passante 4.5.2.5 RRM de Entrada

4.5.2.6 Distorção Harmônica Total (DHT) 4.5.2.7 Distorção por Intermodulação

(DIM) 4.5.2.8 Impedância de Entrada 4.5.2.9 Fator de Amortecimento 4.5.2.10 Slew Rate

4.6 CROSSOVERS ATIVOS

4.7 ALTO-FALANTES E CAIXAS ACÚSTICAS

4.7.1 Cone e Bobina Móvel 4.7.2 Drivers de Compressão e Cornetas 4.7.3 Tweeters e

Supertweeters 4.7.4 Caixas Acústicas

4.7.4.1 Baffles Infinitos e Finitos 4.7.4.2 Suspensão Acústica 4.7.4.3 Refletor de Graves 4.7.4.4 Caixas Com Dutos 4.7.4.5 Radiadores Passivos 4.7.4.6 Caixas Cornetadas 4.7.4.7 Subwoofers e Sistemas Bandpass 4.7.4.8 Cornetas Coaxiais 4.7.4.9 Colunas Line Source 4.7.4.10 Conjuntos Bessel 4.7.4.11 Combinações e Outros Tipos de Caixas Acústicas 4.7.4.12 Line array

4.7.4.13 Projetos e Construção de Caixas Acústicas 4.7.5 Especificações Técnicas 4.7.5.1 Impedância Nominal 4.7.5.2 Máxima Potência Admissível 4.7.5.3

Sensibilidade

4.7.5.4 Ângulos de Cobertura 4.7.5.5 Relação de Diretividade (Q) 4.7.5.6 Índice de Diretividade (DI) 4.7.6 Compressão Dinâmica 4.7.6.1 Corrente Elétrica X Calor 4.7.6.2 Inconveniente X Problema 4.7.6.3 A AutoProteção 4.7.6.4 Ceifamento de Potência Acústica 4.7.6.5 Degradação da Qualidade 4.7.6.6 Alteração dos Parâmetros Thiële-Small 4.7.7 Caixas Acústicas Ativas e Amplificadores 4.7.7.1

DSPs

4.7.7.2 Amplificadores para Caixas Ativas 4.8 SISTEMAS CONTROLADOS

4.8.1 Controlados ou Processados ?

4.8.2 O Que Controlar? O que Processar?

4.8.2.1 Ganho do Amplificador 4.8.2.2 Limitação de Picos e Transientes 4.8.2.3

Formatação Dinâmica da Resposta de Frequência 4.8.2.4 Ajuste das Frequências de Transição 4.8.3 Os Sistemas Controlados (ou Processados) São Perfeitos?

4.8.4 Subprodutos

4.8.5 Como são os Controladores 4.8.6 Vantagens e Desvantagens e Processamento

Multibandas 4.8.8 O Conceito Side Chain e Filtros 4.9 SISTEMAS DIGITALMENTE CONTROLADOS

4.9.1 Evitando Confusão 4.9.2 Um Modelo de Trabalho 4.9.3 O Hardware

4.9.3.1 Os Processadores de Sinal 4.9.3.2 A Matriz de Comutação 4.9.4

Modularidade dos Processadores e das Matrizes 4.9.5 Software

4.9.6 Interface Gráfico 4.9.7 Outros Recursos

4.9.8 A Antiga Geração e a Geração Intermediária 4.9.8.1 O DR128

4.9.8.2 O Mixer Digital O3D

4.9.9 A Nova Geração

4.9.9.1 A Linha Symnet da Symetrix 4.10 ASE – ÁUDIO SOBRE ETHERNET

4.11 CABOS E FIBRAS ÓTICAS

4.11.1 Cabos

4.11.1.1 Cabo Coaxial

4.11.1.2 Par Torcido Com Blindagem 4.11.1.3 Trio Torcido Com Blindagem 4.11.1.4

Star-Quad Com Blindagem 4.11.1.5 Par torcido com blindagem de cobre e dreno,

miniaturizado 4.11.1.6 Dois Pares Individualmente Torcidos e Blindados com Fita,

Mais Blindagem Externa 4.11.1.7 Multicabos

4.11.2 Cabos de Rede

4.11.2.1 Introdução

4.11.2.2 Gênese dos Cabos de Rede 4.11.3 Cabos Irradiantes 4.11.4 Fibra Ótica

4.12 SISTEMAS DE MONITORAÇÃO DE PALCO E MIXERS PESSOAIS

4.12.1 O Início

4.12.2 Os problemas

4.12.2.1 Vazamentos Indesejáveis 4.12.2.2 Nível de Som no Palco 4.12.2.3 Prejuízo para o Som FOH

4.12.2.4 Declarada a Grande Guerra Palco X Plateia 4.12.2.5 Solicitações por Mixes Diferentes 4.12.3 Nada se Cria, Tudo se Transforma (???) 4.12.4 Mixers

Pessoais

4.12.4.1 Furman HDS-16/HRM-16

4.12.4.2 In-Ear

4.12.4.3 Sistemas sem Fio 4.12.4.4 Sistemas Usando Cabos de Rede 4.13

BASTIDORES (RACKS) E ACESSÓRIOS

4.13.1 Bastidores e Pertences 4.13.2 Acessórios

4.13.2.1 Amplificadores de Distribuição 4.13.2.2 Splitters de Microfones 4.13.2.3 Direct Boxes

4.13.2.4 Interfaces

4.13.2.5 Matrizes

4.13.2.6 Patchbays

4.13.2.7 Dispositivos de Roteamento e de Comutação 4.13.2.8 Extensores Sobre UTP

4.13.2.9 Centelhadores (arresters)

4. EQUIPAMENTOS DE SOM

4.1 FONTES DE PROGRAMA

4.1.1 CD Players

Com justa razão o CD player ganhou a predileção generalizada como fonte geradora de programa. De fato, os CD's são compactos, relativamente baratos e fáceis de utilizar. Além disso, a qualidade obtida com aparelhos reprodutores de baixo custo ainda parece ser perfeitamente aceitável. Outras vantagens do CD player são o acesso imediato a qualquer faixa que se queira, a fácil comunicação homem-máquina, a simplicidade operacional, os recursos de programação que muitos aparelhos exibem e o baixo investimento de partida.

Há CD players convencionais, que só podem reproduzir um único CD. Mas também há os multi CD players, capazes de reproduzir de 3 a mais de 200 CD's. Assim, o tempo máximo de programa pode ser estendido a até mais de uma semana, sem necessidade de manipulação dos discos.

Muitos multi CD players são dotados de recurso através do qual as músicas são automaticamente escolhidas e reproduzidas de modo aleatório e sem repetições.

A importância dessa facilidade torna-se evidente se lembrarmos que, se ouvirmos uma sequência de músicas numa dada ordem, e a seguir ouvirmos a mesma sequência na mesma ordem, o grau de rejeição de nossos ouvidos será muito elevado. Entretanto, se as ordens das mesmas músicas forem alteradas em sequências posteriores, o grau de tolerância será incrivelmente aumentado.

Para uso profissional é obrigatório que haja uma saída ótica, possibilitando a ligação digital direta a meios digitais de gravação.

4.1.2 Computadores

Os computadores podem e são usados com fontes de programa em inúmeros segmentos do áudio profissional. Querem um exemplo? Lá vai. Muitas estações de rádio se valem hoje de computadores para reproduzir sua programação.

O fator que desencadeou essa possibilidade de modo profissional, com conforto e segurança, foi o formato mp3.

MPEG é anacronismo para Moving Picture Experts Group. Nome de batismo completo do grupo de técnicos que desenvolveu o sistema de compressão digital para uso com imagens de vídeo. Assim, DVDs e programas de TV de alta definição (HDTV), bem como transmissões feitas por satélites (DSS, Digital Satellite System) usam a compressão MPEG.

O sistema MPEG inclui um subsistema para comprimir sons. Que é exatamente o MPEG

Audio Layer 3, carinhosamente apelidado mp3. E o apelido pegou.

Pois bem, o formato mp3 revolucionou, e continua revolucionando, a distribuição mundial da música e facilitando consideravelmente sua gerência em todas as instâncias. Sentimos isso em nossas próprias peles. Basta analisar rapidamente as novas relações que se desenvolveram entre a música mp3 e nossos computadores.

Eis porque a popularidade do formato não para de crescer.

A grande vantagem do mp3 é sua capacidade de reduzir a quantidade de bits dos arquivos de música. Praticamente conservando a qualidade original.

Se tomarmos um CD convencional como referência, a compressão de 10 a 15 vezes praticamente não altera a qualidade sônica do CD. Assim, um arquivo de música com 32 megabyte (MB) pode ser transformado num arquivo mp3 com menos de 3 MB.

A primeira e óbvia vantagem que isso traz é a tremenda economia de memória que é possível fazer com qualquer forma de armazenamento de arquivos. Outra vantagem é a maior facilidade o incremento de velocidade associados com o transporte de arquivos mp3 de uma mídia para outra.

Assim, um computador convencional, com uma placa de áudio de certa qualidade e um bom software para gerência dos arquivos e da biblioteca de músicas, é o suficiente para que essa seja uma excelente alternativa de fonte de programa. Com boa qualidade, a flexibilidade e os recursos podem ser imaginados pelos leitores.

Só para lhe dar uma ideia grosseira, se considerarmos que cada arquivo mp3 com qualidade intermediária tem tamanho médio de 3,5 MBytes, então um disco rígido de 200 GB poderá conter cerca de 67.000 músicas. Se o tempo médio das músicas for 3 minutos, então aquele disco rígido possibilitará reproduzir perto de 3.366 horas, ou mais de 140 dias seguidos, sem repetir um único arquivo !!!

4.1.3 mp3 player



figura 4.1 mp3 players em cima, da esquerda para a direita: Archos Jukebox, 20 GB, Creative Labs Nomad 128 MB e Creative Labs Nomad Jukebox 20 GB em baixo, da esquerda para a direita: Apple iPod 20 GB, Panasonic SV-SD80 64 MB e Samsung YP-30S Yepp 64 MB

Mais recentemente, e como era de se esperar, o mp3 começou a explorar outros universos além do dos computadores.

Muitas pessoas que passaram a colecionar arquivos de música mp3 logo sentiram necessidade de ouvir suas músicas em quaisquer lugares e não só ao lado do computador.

O mercado se encarregou de dar a resposta para isso. Na forma de mp3 players portáteis.

Os mp3 players usam memórias de alta densidade e têm o tamanho de uma pequena calculadora de 4 operações.

Todos esses aparelhos estão equipados com software que possibilita a transferência de arquivos mp3 diretamente de computadores. Sejam eles PCs ou Macs. Quase todos também incluem recursos para copiar diretamente de CDs e de sites da Internet.

Naturalmente, todos os mp3 players possuem vastos recursos para gerência de arquivos e customização de playlists.

As tarefas de um mp3 players incluem: extrair da memória o arquivo desejado bit a bit, descomprimir o arquivo submetido à compressão original, reproduzir o arquivo descomprimido passando-o por um conversor D/A e, pré-amplificar o sinal de modo que ele

possa ser processado por qualquer dispositivo doméstico ou profissional, com nível de linha.

A maioria dos mp3 players disponíveis é multiformato. Ou seja, eles podem reproduzir arquivos wma, wav, midi, aac, ogg vorbis e outros.

Um mp3 player típico é formado pelos seguintes estágios: porta de dados, memória, microprocessador, DSP para rodar o algoritmo de descompressão, displêi, controles de reprodução, porta de áudio, amplificador e fonte de alimentação.

Os mp3 players são projetados para que, independentemente de como sejam, as fontes de alimentação durem entre 10 e 12 horas.

A porta de dados pode ser USB e/ou firewire. Esta, muito mais rápida do que aquela.

As memórias são Flash, cartões CompactFlash, cartões StarMedia, Memory Stick e microdrive. Com exceção desta última, todas as demais são de estado sólido.

Alguns players possuem pequenos HDs. Nesse caso, eles podem armazenar de 10 a 150 vezes mais arquivos do que, por exemplo, a memória Flash.

Os mp3 players também podem ser ouvidos diretamente via fones de ouvido e auriculares.

O tempo total de reprodução de um mp3 player depende do tamanho dos arquivos mp3 introduzidos na memória e do tamanho da memória. Para se ter uma ideia, 64 MB de memória permitem reproduzir cerca de uma hora. E memória de 40 GB possibilita a reprodução de música por quase um mês, ininterruptamente.

Pessoalmente, entendo que os requisitos essenciais para um mp3 player a ser empregado em áudio profissional são o tamanho da memória, os recursos do software relacionados com a gerência de arquivos e a flexibilidade para lidar com playlists, sem esquecer a capacidade de gravar áudio diretamente em cápsula microfônica integrante do player.

Os preços FOB dos mp3 players variam de US\$ 100 a US\$ 500, aproximadamente.



figura 4.2 iPhone 6
cortesia Apple

A figura 4.2 mostra a foto de um iPhone 6. Isto para lembrar que muitos celulares hoje possuem capacidade de armazenar música com vários formatos de arquivos, sendo o mp3 o mais popular deles todos. Aí está, portanto, uma outra fonte de programação musical, com inúmeras possibilidades de gêneros e controle total por parte do operador.

4.1.4 DATs

Os gravadores e reprodutores DAT são muito utilizados em várias aplicações do áudio profissional.

Eles podem ser empregados no lugar de cassetes, com as mesmas funções, e sempre com mais qualidade. Mas também podem ser usados como substitutos dos CD players. Neste caso, convém lembrar que ainda não há DATs comerciais com capacidade de multirreprodução. Mas as vantagens da possibilidade de gravação são auto explicativas.

Desse modo, esses aparelhos são úteis em estúdios e fora deles.

4.1.5 Gravadores MD

Os gravadores MD são capazes de gravar e reproduzir discos de áudio miniaturizados, com formato de disquetes de computador e diâmetro de 2 1/2 polegadas (2 1/2). Daí a sigla MD, uma abreviatura para MiniDisc. Existem minidiscos que só podem ser reproduzidos, e outros que podem ser gravados e reproduzidos. O tempo máximo de gravação ou reprodução

de um MiniDisc é de 75 minutos.

Uma das grandes vantagens deste formato é seu tamanho reduzido. Mesmo para equipamentos não portáteis. As demais vantagens coincidem com as dos CD players, resguardada a vantagem óbvia da possibilidade de gravar.

O gravador MD pode gravar sinais analógicos, da forma convencional, e também pode fazer gravações digitais diretas. Neste caso, são utilizadas entradas óticas e cabos digitais de fibra ótica.

Embora muitos argumentem que a qualidade dos MD's deixa a desejar se comparada aos CD players, outros pensam que ambas são muito semelhantes. E pessoalmente já tive oportunidade de constatar MD's com mais qualidade do que CD players.

Como não vejo bases sólidas para aqueles argumentos, de um ou de outro lado, gostaria de me estender um pouquinho sobre como os MD's conseguem gravar tanto tempo e com tanta qualidade em disco tão pequeno, usando bit rates reduzidas (128 kbps/canal contra 705,6 kbps/canal dos CD players).

Não que exista algo de errado com se ter muitos bits para lidarmos. Creio que a questão é usar um pouco de inteligência para sabermos o que fazer com os bits.

Pensando em termos de áudio, muitas vezes a codificação linear PCM com 16 bits pode parecer um sistema cego. Um modo que a engenharia encontrou, que usa a força bruta para preservar as formas de onda. A ideia central é amostrar a forma de onda numa taxa muito elevada, e associar uma palavra digital a cada amplitude de amostra. Quando as palavras digitais são reproduzidas, as amostras são reconstruídas, e um filtro liga os pontinhos para obter a forma de onda original. Até aí tudo legal. Mas será que isso é mesmo necessário?

Os cientistas da psicoacústica chegaram ao limiar de audição, que estabelece a menor pressão sonora que a média dos ouvidos humanos consegue detectar num ambiente absolutamente silencioso. Trata-se de uma função que varia com a frequência.

Nossa audição é mais elevada na região dos 3,5 kHz. E progressivamente menos sensível à medida em que as frequências caminham para os extremos que podemos ouvir, 20 Hz e 20 kHz. A rigor, é preciso níveis 80,0 dB mais elevados nesses extremos para que nossa audição seja a mesma que na região dos 3,5 kHz. Se tomarmos esses números no jargão digital, estaremos falando de uma diferença de 13 bits.

O que sugere que não há qualquer razão que justifique o desperdício com a codificação de bits que jamais serão ouvidos. Bem, isso é exatamente o que faz a codificação linear PCM. Daí os termos cego e força bruta que usei anteriormente.

Próximo passo é discutirmos o mascaramento acústico. Para que alguém seja ouvido num cruzamento barulhento, com trânsito congestionado, será preciso elevar muito o nível da voz.

Aliás, o que fazemos mecanicamente. Mas se esse mesmo nível de voz for usado em casa, durante a madrugada, talvez os vizinhos chamem a polícia. O que significa que sons elevados mascaram outros, mais débeis. O processo do mascaramento é bastante complexo.

O efeito mascaramento depende das intensidades relativas dos sinais, do distanciamento das frequências dos sinais envolvidos, e em que região do espectro eles estão. Para facilitar as coisas, os cientistas psicoacústicos estabeleceram uma entidade denominada bandas críticas. O que é analisado com detalhes no apêndice E.

A banda crítica é o segmento do espectro no qual o mascaramento é bastante eficaz. Na região das baixas frequências a banda crítica vai de 80 a 100 Hz.

A largura da banda crítica vai aumentando à medida em que se sobe no espectro, e termina aproximadamente constante, com valor em torno de 1/3 de oitava.

Pois bem, os codificadores dos MD's tiram vantagem desses fenômenos psicoacústicos, ignorando sinais que não poderiam ser ouvidos. E codificam apenas os sinais perceptíveis, indo ao ponto de mascarar os ruídos de quantização. E assim conseguem codificar digitalmente sinais musicais com excelente qualidade. Mais importante, usando taxas muito inferiores ao que se usa na codificação linear PCM.

Muitos autores se referem ao processo discutido utilizando o termo compressão de dados. Prefiro classificar o processo como utilização inteligente de dados para evitar a conotação negativa do termo compressão.

À medida que nossos conhecimentos de psicoacústica progredam, é possível que os algoritmos usados nesses sistemas de codificação evoluam a ponto de termos, com eles, mais qualidade do que com a codificação linear PCM.

O sistema Super Bit Mapping da Sony é um exemplo de aplicação de técnicas de psicoacústica à codificação linear para melhorar a qualidade dos CD's convencionais.

O sistema de codificação inteligente da Sony, usado nos MD's é o ATRAC, para Adaptive Transform Acoustic Coding.

4.1.6 DVD-A

Como nos CDs convencionais, o DVD-A ou DVD-Audio, usa tecnologia PCM (Pulse Code Modulation). Detalhes a respeito do PCM no Apêndice C.

A primeira grande diferença entre os CDs convencionais e os DVD-As é que os primeiros usam taxa de amostragem de 44,1 kHz contra 96 kHz, e até mesmo 192 kHz dos DVD-As. Detalhes sobre as taxas de amostragem no Apêndice C.

A segunda grande diferença, introduzida com o conceito DVD-A, é o sistema de compressão MLP, anacronismo para Meridian Lossless Packing. Esse é o responsável pela

recuperação de expressiva parte do espaço extra de armazenamento de dados imposto pela maior taxa de amostragem.

A terceira grande diferença é a quantidade de bits da palavra digital. Enquanto o CD convencional usa palavras de 16 bits, o DVD-A usa palavras de 20 bits, podendo chegar a 24 bits. O que significa mais elevada relação sinal/ruído.

O Apêndice C nos diz que a relação sinal /ruído dos sinais quantizados com palavras de n -bits é dada por

$$S/R = 6,02 n + 1,761$$

Se fizermos os cálculos para os CDs convencionais chegaremos a $S/R = 96$ dB, enquanto para os DVD-A temos 122,2 dB para palavras de 20 bits e 146,2 dB para palavras de 24 bits.

Ora, ainda não é possível fabricar nenhum produto com tal relação S/R . Nem mesmo conversores A/D e D/A que, por razões de ruídos térmicos e outros, associados aos componentes, fios e circuitação, podem chegar, na melhor das hipóteses, a cerca de 120 dB.

Os DVD players mais modernos, que são lançados no mercado a partir de US\$ 300, já podem reproduzir os DVD-A, mas não os SACD, discutidos a seguir.

4.1.7 SACD

SACD ou Super Audio CD da Sony/Philips. A tecnologia PCM está conosco há muitas décadas. E a Sony/Philips divisaram uma maneira diferente de armazenar informações digitais. O formato é chamado DSD, anacronismo para Direct Stream Digital. Ao invés de armazenar os valores das amostras na forma de palavras digitais de 16 ou 20 ou 24 bits, armazena-se apenas um único bit. E esse bit solitário tem a função única de informar se a amostra seguinte é de um sinal mais ou menos intenso que o da amostra precedente. Assim, no DSD há uma sequência de bits individuais ao invés de uma sequência de palavras digitais.

A rigor, o PCM convencional também gera uma sequência de bits. Mas eles sofrem um processo denominado “decimação”, através do qual são criadas as conhecidas palavras digitais multi-bit.

A Sony/Philips alega que o DSD é muito mais simples do que o PCM e argumenta que até a decimação não se faz mais necessária. Ao invés disso, grava-se uma sequência diretamente e de forma muito mais sintética.

Mas para que isso funcione adequadamente, a taxa de amostragem do DSD precisa ser muito elevada. Que tal 2,82 MHz? Essa taxa é 64 vezes mais elevada que a taxa de um CD convencional. Aparentemente muito elevada, a Sony/Philips informou que a taxa foi escolhida em razão dos excelentes resultados produzidos nas altas frequências.

Além disso, os conversores D/A empregados com o formato DSD são apenas filtros passa

baixas de implementação muito fácil e custo reduzido.

Pois bem, o formato DSD é o que está por trás do SACD, ou Super Audio CD.

A Sony/Philips assegura que a qualidade sônica do SACD é muito superior à dos CDs convencionais, e mesmo à dos DVD-As. Os aspectos específicos mais apontados pelas duas empresas são o desempenho bem mais suave nas altas frequências e a adição de detalhes e clareza.

O SACD também inclui um algoritmo de compressão imaginado para que não haja sacrifício de qualidade com perdas desnecessárias. O objetivo é fazer com que o tempo de reprodução seja similar ao do CD convencional e ao do DVD-A.

Outra vantagem nítida do SACD é que os discos podem ser fabricados com duas camadas. A superior, de acordo com os padrões do Red Book, e a inferior, contendo as informações DSD de alta resolução. Se você ainda não sacou qual é a real vantagem, ela é a possibilidade do SACD ser reproduzido num CD player convencional. Naturalmente, sem os benefícios da alta resolução.

Quero esclarecer que nem todos concordam com a alegada superioridade dos SACD sobre os CDs convencionais. Entre esses, estou eu. Naturalmente, um trabalho como o que você está lendo não comporta debates sobre esse tópico. Mas quem quiser ir mais a fundo no assunto pode procurar os papéis da AES, já que esse tema tem sido objeto de inúmeras palestras e discussões recentes nas convenções da AES no exterior, incluindo praticamente todos os prós e contras envolvidos.

Ao mesmo tempo, pessoas de reputação auditiva ilibada, como é o caso de Michael Bishop da Telarc, sustentam que a qualidade do SACD é realmente superior à dos CDs convencionais.

É. Aparentemente essa controvérsia ainda vai render muitos e muitos anos pela frente Os SACD players ainda são muito caros. E não podem reproduzir os DVD-A.

Pessoalmente entendo que se em breve não houver acordo a respeito de se partir para um projeto de um player bem mais universal do que temos visto até o momento, algo realmente capaz de reproduzir DVDs, CDs, DVD-As e SACDs, os novos CDs de alta resolução não resistirão e terão morte prematura.

Esse entendimento não é apenas uma suposição, mas a observação de muitas e muitas guerras semelhantes que já ocorreram com formatos contendores que viraram história. E bem apagada. Quem quiser um pouco mais de informação sobre este tópico pode começar a procurar informações sobre o El Cassette.

4.1.8 Decks Cassete e Gravadores de Carretel Aberto Ambos já podem ser adquiridos como peças de colecionadores de raridades.

Ainda assim, os decks cassette podem ser usados como fontes de programa. Em compensação, será preciso trocar as fitas de acordo com as respectivas durações. Isso praticamente inviabiliza a utilização dos cassetes em sistemas que usam fontes de programa em caráter permanente, ou mesmo prolongado, como 18 horas por dia.

A maior vantagem dos cassetes sempre foi a possibilidade de gravar eventos de forma absolutamente simples. Especialmente porque as fitas sempre foram disponibilizadas com muita facilidade. O que já começa a não ser mais bem uma verdade.

Para uso profissional é sempre recomendável não utilizar aparelhos com duplo compartimento para fitas. Se for preciso duplicar fitas, melhor opção é utilizar dois aparelhos. Um reproduzindo e outro gravando.

A maioria dos cassetes possui entradas e saídas não balanceadas. Para uso profissional, o melhor é escolher aparelhos com painéis próprios para instalação em racks de 19" sem necessidade de adaptadores, e providos com entradas e saídas balanceadas. A exemplo do Tascam 122 MK III e dos Marantz PDM-501 e PDM-502. Outro recurso muito útil nos cassette decks, especialmente quando se pretende fazer gravações, é a utilização de 3 cabeças magnéticas. Com elas, é possível monitorar o programa gravado praticamente em tempo real.

Além disso, as escolhas devem recair em modelos com sistemas redutores de ruído Dolby B, C e HX Pro.

Os gravadores de carretel aberto ainda são utilizados em alguns estúdios. Mas por incrível que pareça, algumas especificações de sistemas de reforço e de sistemas de distribuição de música funcional ainda exigem esses gravadores, empregados como fontes de programa.

No passado, os motivos sempre alegados para seu emprego eram a qualidade do áudio de um lado, e o tempo máximo de programa que era possível obter com uma só fita, de outro. Por razões óbvias, e exceto para estúdios ou aplicações especiais, atualmente não há mais porque empregá-los como fontes de programa. Uma mera análise superficial nesse sentido só evidenciará desvantagens.

4.1.9 Gravadores DCC

O DCC foi uma tentativa da Philips de disponibilizar para o mercado um aparelho capaz de gravar e reproduzir áudio digital numa mídia convencional e, de quebra, reproduzir as fitas cassette convencionais. Fisicamente ele lembrava o deck cassette convencional. Era capaz de gravar digitalmente fitas cassette, de reproduzi-las, e também, de reproduzir fitas cassette analógicas, convencionais.

Como os MD's, os DCCs também eram usados algoritmos perceptivos, num processamento muito semelhante ao discutido anteriormente, e trabalhavam com bit rate reduzido, no caso,

192 kbps. O processo de redução de bit rate do DCC, criado pela PHILIPS, tinha o nome PASC, para Precision Adaptive Subband Coding. Sua grande vantagem era a possibilidade de reproduzir fitas cassete convencionais, novas ou velhas. Enquanto as gravações digitais asseguravam melhores resultados. O tempo total de gravação ou reprodução era 120 minutos.

Como os DATs, os DCCs apresentavam os inconvenientes do contato físico cabeça magnética-fita, e uma certa morosidade no acesso a programas em geral, em comparação com os CD players e MD's.

4.1.10 VCRs e Video Laser Players Muitos ainda consideram os VCRs (Video Cassette Recorders) aparelhos indispensáveis em sistemas de vídeo. Ora, também é possível utilizá-los em sistemas de áudio.

Se a pista de vídeo for desprezada, podemos contar com um ou dois canais de áudio, nas velocidades padrão dos VCRs. Isto é, SP (Standard Play), LP (Long Play) e EP (Extend Play).

Os VCRs do gênero hi-fi stereo, que são sempre de dois canais, ou mais quando são empregados processadores para Home Theater, possuem excelentes respostas de frequência. E na velocidade EP é possível obter um tempo total de programa de perto de 8 horas de programa em cada canal.

Como os VCRs, os reprodutores de discos de vídeo também geram trilhas de áudio, que podem ser utilizadas como fontes de programa.

4.1.11 Sintonizadores de FM

Os sintonizadores de AM/FM são utilizados em alguns sistemas de distribuição de música funcional e, também, como fontes geradoras de programa em sistemas de reforço, o que pode ser útil durante intervalos de eventos.

As maiores desvantagens dos sintonizadores são a impossibilidade de escolha das músicas dos programas, a existência insistente dos muitos comerciais e jornais falados, além de períodos prolongados sem música, como durante o programa, ainda obrigatório para todas as emissoras, a nossa Voz do Brasil, horários políticos gratuitos e outros.

A principal vantagem é que, uma vez escolhida a estação, e salvo pelas exceções mencionadas, não é preciso alterar quaisquer controles do aparelho.

4.1.12 DSS

DSS, ou Direct Satellite System, é uma forma de transmitir e receber sinais digitais de TV via satélite, com parábolas relativamente pequenas. Os diâmetros são inferiores a meio metro.

Por exemplo, a programação da DirectTV inclui 32 canais de áudio. Os quais podem ser

utilizados como fontes de programação musical.

Como nos sintonizadores FM/AM, a desvantagem é a impossibilidade de escolha de programas. Mas ao contrário dos sintonizadores, não há problemas com a existência dos comerciais e nem dos jornais falados.

4.2 MICROFONES

É muito provável que a primeira referência histórica ao termo microfone tenha ocorrido em 1683. Sim, porque passou a integrar um badaladíssimo dicionário editado exatamente naquele ano. Entretanto, o velho registro histórico relacionava o termo com dois instrumentos acústicos muito comuns na época, ambos imaginados para “intensificar” os sons. Um deles era a corneta acústica, desenvolvida para facilitar a audição de indivíduos portadores de deficiência auditiva. O outro era o megafone, desenhado para aumentar a distância de projeção da voz humana não assistida. Bem, ao menos essa é uma das origens seguras do termo, formado pelos vocábulos gregos “micro”, que significa pequeno, e fone, que significa voz.

Bem mais tarde, já no final do século XIX, Alexander Graham Bell sabia muito bem que sua ideia grandiosa de usar o telefone como meio de comunicação de massa só poderia ser materializada se fosse inventado um dispositivo capaz de captar e transmitir à distância os campos acústicos produzidos nas duas extremidades das ligações estabelecidas.

Ao que vale dizer, era preciso dispor de um transdutor capaz de interpretar adequadamente os campos acústicos predominantes, produzindo ou formatando energia elétrica em analogia às correspondentes variações de magnitude. E com essa definição clássica de microfone pode-se dizer que o genial invento de Bell já incorporava os embriões dos microfones, tais como os conhecemos hoje. A partir do momento em que foram inventados, esses transdutores pioneiros, inicialmente chamados cápsulas transmissoras, passaram a ser rapidamente aperfeiçoados. Especialmente em função da explosiva demanda consubstanciada pelo crescente uso profissional exigido pela então muito promissora radiodifusão.

Desse modo, o berço dos microfones foi a mais fina flor do áudio profissional. Com raízes na telefonia e na radiodifusão.

Desenvolvidas simultaneamente por Graham Bell e por Elisha Gray, as cápsulas transmissoras, ou transmissores líquidos, já eram perfeitamente operacionais em 1876. Esse dispositivo funcionava como uma resistência variável. O usuário falava numa peça afunilada que terminava num diafragma que prendia um pino metálico, e este se projetava para o interior de uma cúpula inferior, dentro da qual havia um líquido de consistência ácida.

Os movimentos do conjunto diafragma/pino alteravam a profundidade do pino no líquido, provocando correspondentes alterações de resistência elétrica. A ligação de fios elétricos do

pino e da cúpula em série com uma bateria elétrica, e com um aparelho telefônico, permitiam que a voz humana dirigida para a peça afunilada produzisse sinal elétrico análogo às variações de intensidade da fala articulada. E esse sinal podia ser transportado através das linhas telefônicas.

Entretanto, o transporte das informações feitas pelos telefones de Bell estava tecnicamente limitado a uma distância máxima de 30 quilômetros. E lá pelas tantas essa restrição passou a impedir o desenvolvimento do potencial do sistema telefônico. O inconveniente foi logo superado com um dos muitos inventos de Edison, então patrocinado pela Western Union. E assim nascia o microfone a carvão.

Ele empregava um diafragma atrás do qual ficavam partículas de carvão moderadamente compactadas.

A genialidade do invento residia no fato do “novo” microfone não ter que produzir energia elétrica, mas sim modular uma corrente elétrica produzida externamente.

O lado esquerdo da figura 4.3 exhibe o fantástico transmissor líquido de Graham Bell e o lado direito mostra um microfone a carvão muito primitivo.



figura 4.3 A- “transmissor líquido” de Graham Bell e B – microfone a carvão primitivo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Portanto, podemos conceituar que microfones são transdutores capazes de transformar energia da forma acústica para a elétrica. Ou seja, são transdutores eletroacústicos.

Há incontáveis técnicas e maneiras possíveis de se construir microfones. Na prática, isso significa que há uma enorme variedade de tipos e modelos, cada qual com seu som peculiar, característico, próprio e único. Esse fato é considerado não só pelos fabricantes, que desenvolvem diversos modelos para várias aplicações, mas também pelos usuários, a quem cabe escolher e utilizar os microfones de modo a atingir um conjunto de resultados desejados.

É exatamente nesse ponto que entra em cena o que se convencionou chamar de técnicas de microfonação.

Como se nota, há um relacionamento cruzado interligando os grupos.

O primeiro grupo é organizado como função direta da fonte de energia utilizada. O segundo grupo é classificado de acordo com o princípio de transdução e, finalmente, a arquitetura do terceiro grupo leva em conta a magnitude do campo acústico amostrado.

São considerados transdutores passivos aqueles que convertem energia acústica diretamente em energia elétrica, sem necessidade de ajuda de qualquer fonte externa de energia. Enquadram-se nessa categoria os microfones dinâmicos, os magnéticos, os piezelétricos, bem como os condensadores que se valem de polarização CC.

Os transdutores ativos convertem energia produzida por uma fonte externa, em resposta às vibrações do campo acústico. Os microfones a carvão e os condensadores RF se valem deste princípio.

Os microfones de pressão geram voltagem proporcional à magnitude do deslocamento físico do diafragma. O que se aplica a todos os microfones capacitivos e aos piezelétricos. E também, aos microfones a carvão.

Nos microfones de pressão o diafragma tem apenas uma única face amostrando o campo de som. Desse modo, em qualquer instante a saída elétrica guarda correspondência com a pressão dinâmica verificada naquele mesmo instante.

O termo transdutor de velocidade é aplicado a praticamente todos os microfones que trabalham baseados nos princípios e nas leis da indução eletromagnética. Portanto, sua voltagem de saída não é proporcional à excursão do diafragma, mas sim à velocidade de deslocamento do diafragma.

Nos microfones de velocidade o diafragma tem duas faces amostrando o campo de som. Portanto, o efeito do campo de som manifesta-se como o gradiente entre a onda acústica de incidência frontal e a de incidência traseira. E a saída elétrica corresponde, então, à velocidade instantânea de partícula da onda acústica.

Quem tiver interesse em mais detalhes sobre a classificação dos microfones, recomendo a leitura da Publicação IEC # 50-08, seção 15.

4.2.1 Padrão de Captação
4.2.1.1 Onidirecionais Os primeiros microfones construídos tinham suas cápsulas lacradas. E dentro delas estavam os diafragmas. Logo, qualquer diafragma só tinha uma de suas duas faces exposta ao campo de som que se pretendia captar. A consequência óbvia dessa arquitetura é que os diafragmas respondiam igualmente aos sons, sem discriminar ou favorecer nenhuma direção em particular.

Podemos colocar isso de outra forma. Num meio isotrópico como o ar, a pressão sonora num ponto qualquer independe da direção de propagação do som. Logo, um microfone

colocado naquele ponto, e que responda à pressão sonora, terá comportamento essencialmente onidirecional. Isto é, responderá da mesma forma a sons provenientes de quaisquer direções.



figura 4.4 cápsula lacrada típica cortesia Bruel & Kjaer A figura 4.4 ilustra essa característica. Uma vez que esses microfones aceitavam igualmente os sinais provenientes de todas as direções, foram batizados onidirecionais.

Portanto, microfones onidirecionais são aqueles igualmente sensitivos em todas as direções. O padrão de captação onidirecional pode ser representado como na figura 4.5. A ilustração pictórica está do lado esquerdo, porquanto o lado direito mostra o diagrama polar onidirecional. Que, como se pode ver, é um gráfico capaz de representar as perdas em dB na saída do microfone para uma fonte de som que se move 360° em torno do transdutor. Para gerar os dados representados no gráfico, a distância entre o microfone e a fonte deve ser mantida constante.

Na prática, nenhum microfone é absolutamente onidirecional.

Com efeito, constata-se pequenas variações de sensibilidade que tendem a aparecer em determinadas direções, a exemplo do eixo de simetria dos transdutores. O que ocorre em razão das dimensões dos dispositivos físicos construtivos dos microfones, que ocupam lugar no espaço, quando, idealmente, deveriam ser pontuais.

O fenômeno também é consequência de difrações que tendem a alterar a resposta dos microfones nas altas frequências. De fato, a partir das frequências cujos comprimentos de onda são da mesma ordem de grandeza que as dimensões físicas da cápsula, começa a ocorrer um fenômeno denominado sombreamento. Em razão disso, os microfones tendem a responder mais às ondas que incidem frontalmente e menos às que incidem de outras direções. Ou seja, os microfones onidirecionais tendem a ser algo mais direcionais a partir de uma dada frequência, que, por sua vez, depende das dimensões da cápsula.

Mesmo assim é possível construir microfones muito pequenos, substancialmente onidirecionais por todo o espectro de áudio. Ou seja, de 20 Hz a 20 kHz.

Outra consequência desse mesmo fenômeno é que sons com comprimentos de onda muito reduzidos e que chegam pelas partes traseiras dos microfones não têm a capacidade de contornar adequadamente o corpo da cápsula para atingir o diafragma. Portanto, diante de ângulos radicais de captação os microfones onidirecionais tendem a perder sua claridade. Simultaneamente, a resposta de frequência vai sendo progressivamente atenuada com o aumento da frequência.

Mesmo considerando todas essas questões físicas, o resultado sônico obtido com os microfones onidirecionais tende a ser melhor do que é possível obter com os microfones

direcionais.

Os microfones também podem ser construídos para responder com sensibilidade diferente aos sons que lhes atingem pelas diversas direções do espaço.

4.2.1.2 Direcionais – Figura de Oito Para muitas aplicações, especialmente em gravações, é desejável que os microfones não sejam direcionais. Isto é, de quer que eles discriminem determinadas direções.

O primeiro microfone direcional de que tenho notícia foi um microfone de fita desenvolvido pela RCA. O produto foi comercialmente disponibilizado em 1931. O objetivo da RCA era chegar a um microfone capaz de distinguir o som proveniente de uma fonte de som com localização espacial determinada e discriminar esses sinais do sinal do ruído ambiente, considerado uma interferência inoportuna e indesejável.

Para termos uma noção superficial de como funcionava o microfone de fita desenvolvido pela RCA vamos imaginar um daqueles microfones primitivos, com cápsula lacrada dos quais acabamos de falar. Imagine também que tenhamos quebrado o lacre de sua cápsula. A ponto de revelar por completo o diafragma, expondo suas duas faces aos campos de som. Então, teríamos uma situação na qual o diafragma não responderia mais às flutuações da pressão sonora como antes, mas sim às diferenças instantâneas de pressão verificadas entre as duas faces.

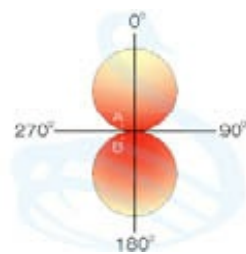


figura 4.6 padrão polar figura de oito e análise de situação com dois pontos, um de cada lado do diafragma acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vejamos isso com um exemplo. Observe os pontos “A” e “B” da figura 4.6. As pressões nesses pontos podem ser comparadas elétrica ou mecanicamente.

Nas comparações elétricas, tudo se passa como se duas voltagens idênticas provenientes de dois microfones muito próximos fossem somadas com suas fases invertidas. Nas comparações mecânicas, as duas faces do mesmo diafragma ficam expostas aos campos de som, de modo que apenas as diferenças entre os dois campos podem produzir movimentos no diafragma. Essas diferenças resultam dos diferentes ângulos de incidência dos sons no diafragma, e dos trajetos que eles devem percorrer, inclusive para contornar o diafragma e atingir sua outra face. As distâncias entre os pontos A e B da figura 4.6 devem ser pequenas em comparação com os comprimentos de onda das frequências que se pretende captar.

As diferenças de pressão acabam fazendo com que as partículas adquiram instantaneamente velocidade na direção do gradiente de pressão. Logo, nesse tipo de microfone a voltagem de

saída é sempre proporcional à velocidade das partículas de som.

O Fator de Transmissão de Campo (FTC), ou sensibilidade desse tipo de microfone, pode ser calculado por

$$FTC = FTC_0 \cdot \cos \theta \quad (4.1)$$

onde

- FTC é o fator de Transmissão de Campo, ou sensibilidade, para sons que incidam perpendicularmente ao diafragma, e
 - θ é o ângulo formado pela direção de incidência do som e a direção perpendicular ao diafragma
- Acabamos de discutir o chamado microfone figura de oito, cujo padrão de captação polar é representado por uma figura de oito.

Como no caso anterior, gostaria de mostrar a ilustração pictórica do padrão de captação e o padrão polar do microfone figura de oito. Veja, então, a figura 4.7.

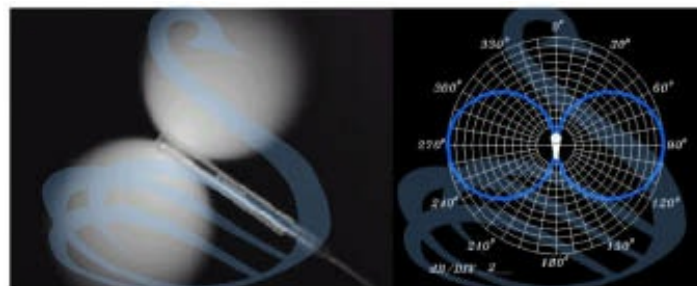


figura 4.7 representação espacial da captação figura de oito e respectivo padrão polar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Por razões óbvias, os microfones figura de oito também são chamados bidirecionais.

4.2.1.3 Direcionais ou Bidirecionais Assimétricos Houve uma época em que os microfones direcionais convencionais, por mais direcionais que fossem, não apresentavam o grau desejado de diretividade.

Mas as pesquisas caminharam não só para que os aumentos de diretividade fossem mais consistentes, mas também para que os padrões de captação pudessem ser melhor controlados em relação ao que era possível no início.

Portanto, os microfones direcionais são aqueles que se mostram mais sensíveis para os sons que lhes atingem por uma dada direção. Geralmente a direção frontal. Isto é, aquela determinada pelo eixo principal do transdutor. Logo, esses microfones são menos sensíveis para os sons de incidência lateral e/ou traseira.

A seguir são discutidos os principais microfones direcionais.

cardióides

Será que você já tinha pensado em superpor o padrão polar de um microfone onidirecional ao padrão polar de um microfone figura de oito?

Se não, veja o resultado dessa arte na figura 4.8.

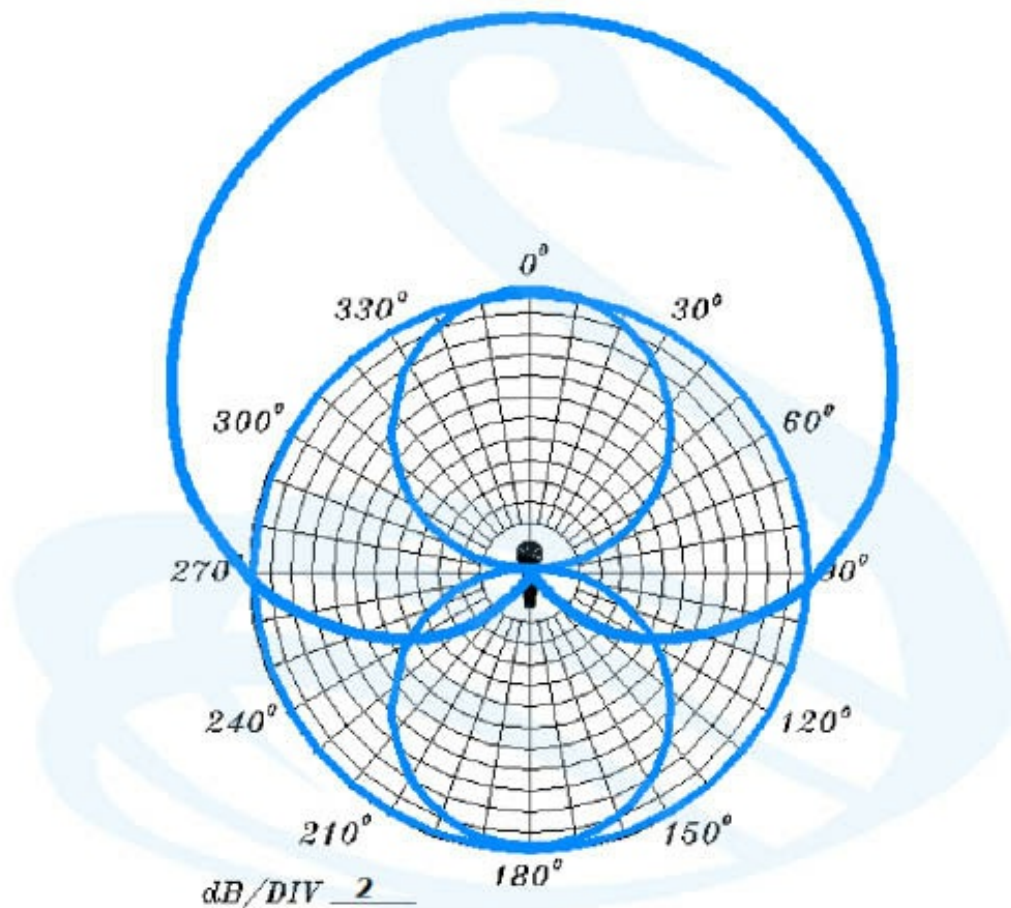


figura 4.8 superposição dos padrões onidirecional e figura de oito, resultando o padrão cardióide acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ora, quem diria que ao final teríamos o padrão polar salientado na figura, conhecido como cardióide? Pois bem, agora estamos interessados em saber como implementar um microfone desses na prática. E há algumas maneiras de fazê-lo.

Uma delas é dispor duas cápsulas tão próximas entre si quanto possível, sendo uma onidirecional e outra uma figura de oito. Então, combina-se as voltagens de ambas. Outra maneira seria usar um diafragma com configuração especial. Uma parte desse diafragma teria sua face frontal exposta ao campo de som e nada mais. A outra parte do mesmo diafragma teria suas duas faces expostas ao campo de som. Outro modo, ainda, seria construir um transdutor com as duas faces do transdutor expostas ao campo de som, porém, de sorte que os sons chegando à face traseira sofressem um certo atraso. Para tanto, a cápsula deve ter aberturas para dar passagem aos sons. Essas aberturas precisam ser desenhadas para formar filtros passa-baixas acústicos. O tempo de trânsito do som deve corresponder ao atraso desejado, de modo a assegurar que a face traseira fique bloqueada para as médias e para as altas frequências.

Essa técnica transforma o transdutor num microfone de pressão direcional.

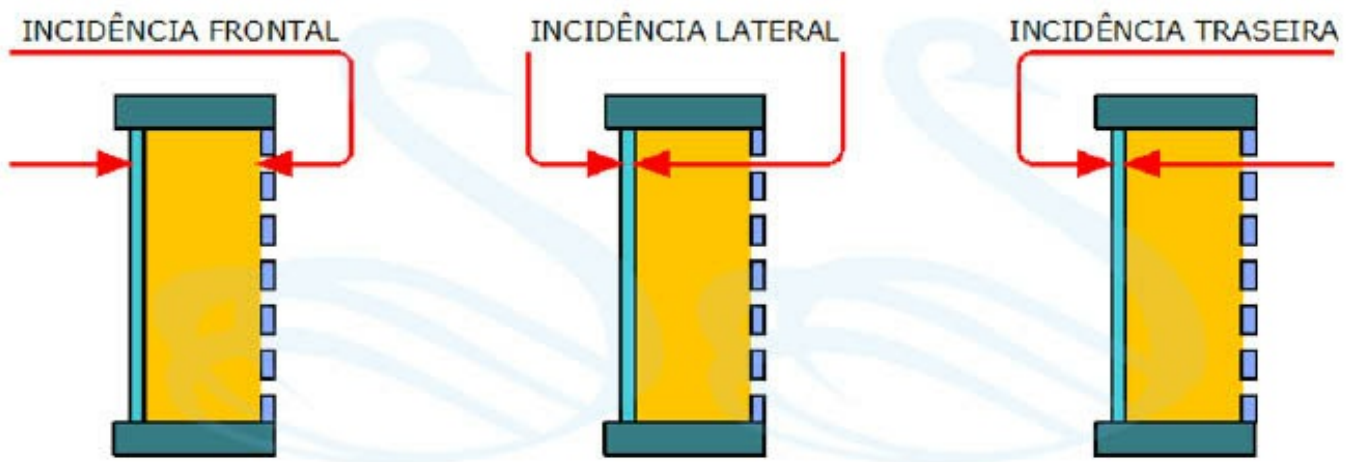


figura 4.9 princípio de funcionamento dos microfones cardióide dotados de dispositivo capaz de impor atraso aos sons acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A maioria dos microfones cardióide modernos segue esse princípio, ilustrado na figura 4.9. Ao lado e atrás do diafragma é inserido dispositivo e/ou material capaz de atrasar mecanicamente a progressão de propagação do som.

Digamos que esse atraso seja t_1 .

Para contornar o dispositivo que aloja o diafragma, o som é obrigado a percorrer percurso adicional, sofrendo novo atraso.

Digamos, t_2 .

Se o sistema for dimensionado para que $t_1 = t_2$, então, para sons incidindo a 0° no diafragma, a parcela dessa onda que se dirige para os fundos do alojamento sofrerá atraso de $t_1 + t_2$. Para sons incidindo a 90° , o atraso será metade do anterior. Ou seja, apenas t_1 .

Finalmente, para incidência a 180° , as forças agindo nas duas faces do diafragma estarão em fase, de sorte que o diafragma não se movimentará.

O resultado final será um padrão polar semelhante ao obtido com a superposição dos padrões onidirecional e figura de oito. Ou seja, o padrão cardióide.

De longe, os microfones cardióide são os mais comuns entre todos os microfones direcionais. Podemos resumir dizendo que os cardióides são mais sensíveis para os sons que chegam pela parte frontal e um pouco menos sensível para os sons que chegam pelos lados.

Além disso, eles apresentam pronunciada rejeição para os sons que chegam por trás.

Os valores típicos dessas atenuações são 6,0 dB para sons que incidem a 90° e ∞ dB para sons que incidem a 180° .

Levando em conta essas atenuações típicas, fica muito difícil sustentar o que muitos fazem, chamando os microfones cardióide de unidirecionais.

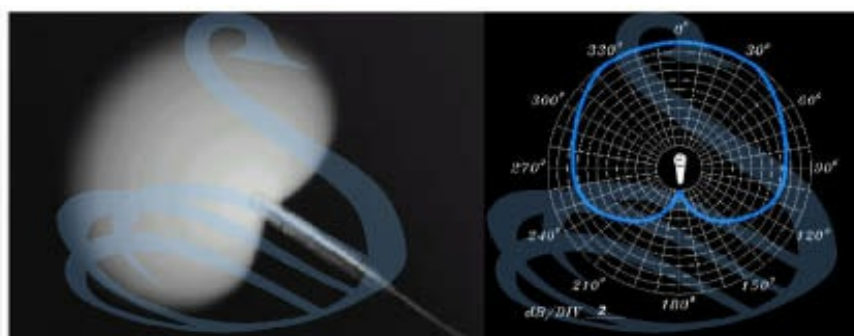


figura 4.10 representação espacial da captação cardióide e respectivo padrão polar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O nome cardióide deve-se à particular forma gráfica que representa o padrão polar de captação do transdutor. Com efeito, essa forma lembra um coração humano quando o microfone é visto lateralmente.

Como ilustra a figura 4.10.

A propósito, observe que se qualquer microfone cardióide for colocado com o diafragma voltado para cima, como mostra o lado direito da figura 4.10, então, o padrão de captação em qualquer plano horizontal será o onidirecional. Esse detalhe pode e é levado em conta quando da aplicação das técnicas de captação.

A ilustração pictórica do padrão de captação e do padrão polar do microfone cardióide estão na figura 4.10.

A curva que representa o padrão cardióide clássico pode ser matematicamente calculada pela equação cartesiana $(x^2 + y^2 - ax)^2 = a^2 (x^2 + y^2)$.

Teoricamente podem ser concebidas inúmeras ordens de curvas cardióide, como ilustra a figura 4.11. Na parte superior, da esquerda para a direita, as figuras de 1ª, 2ª e 3ª ordens, respectivamente. Em baixo, da esquerda para a direita, as figuras cardióide de 4ª, 5ª e 6ª ordens.

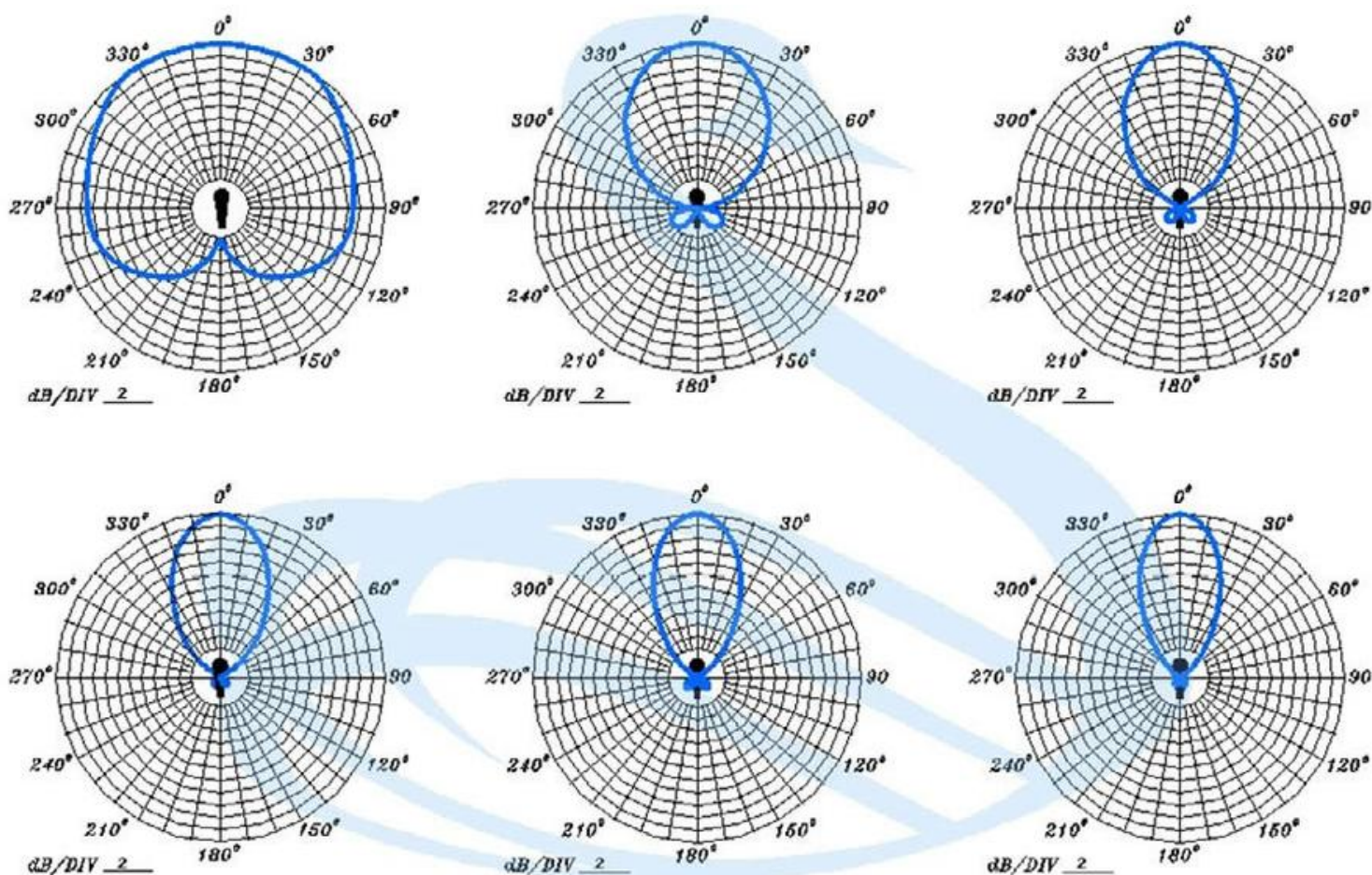


figura 4.11 padrões polares cardióides de ordens diferentes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne supercardióide

Espero poder ter esclarecido ao menos um pouco das técnicas construtivas dos microfones cujas características foram ilustradas nas figuras 4.6 até 4.11. Naturalmente, quaisquer das três

técnicas descritas podem sofrer pequenas variações para produzir diferentes efeitos desejados.

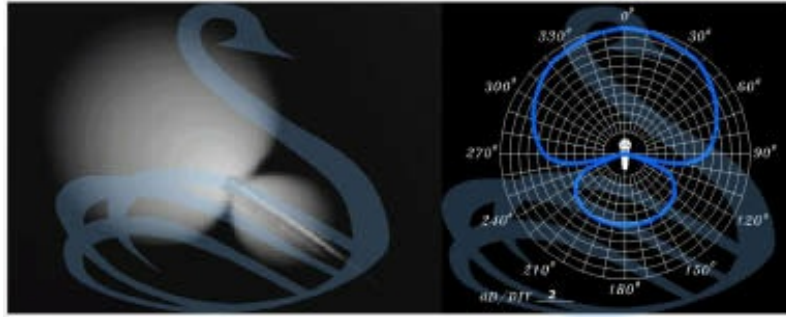


figura 4.12 representação espacial da captação supercardiódide e respectivo padrão polar cortesia Cysne Science Publishing Por exemplo, se não desejamos construir um microfone que rejeite totalmente os sons traseiros, mas que tenha grau mais elevado de rejeição aos sons laterais, podemos promover as variações construtivas correspondentes.

No fundo, queremos uma figura de oito assimétrica. O que significa que devemos dosar tecnicamente os parâmetros envolvidos para atingir à medida desejada. Que geralmente é a medida da assimetria pretendida.

Uma dessas medidas, considerada um marco, é uma atenuação típica de 8,7 dB para sons que incidam a 90° e de 11,5 dB para sons que incidam a 180°.

A figura 4.12 ilustra pictoricamente esse padrão de captação e o correspondente padrão polar, cujo microfone é o supercardiódide. Ele preenche aqueles requisitos de assimetria.

hipercardiódide

Assim como é possível manipular os parâmetros construtivos dos transdutores para se chegar aos microfones supercardiódide, também é possível dosar as alterações para se chegar aos microfones hipercardiódide.

Ainda aqui estamos apenas tratando de obter uma figura de oito assimétrica, com assimetria controlada.

Uma nova medida do padrão de assimetria é outro daqueles marcos, isto é, uma atenuação típica de 12 dB para sons que incidam a 90° e de 6 dB para sons que incidam a 180°. Esses requisitos são os dos microfones hipercardiódide.

A figura 4.13 ilustra pictoricamente o padrão de captação e o padrão polar dos microfones hipercardiódide.

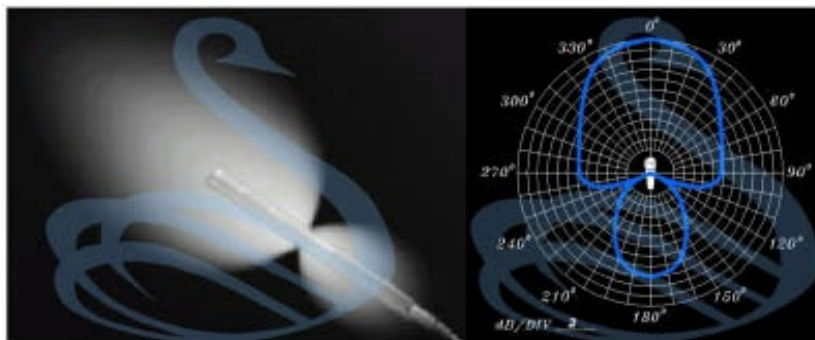


figura 4.13 representação espacial da captação hipercardiódide e respectivo padrão polar cortesia Cysne Science Publishing subcardiódide

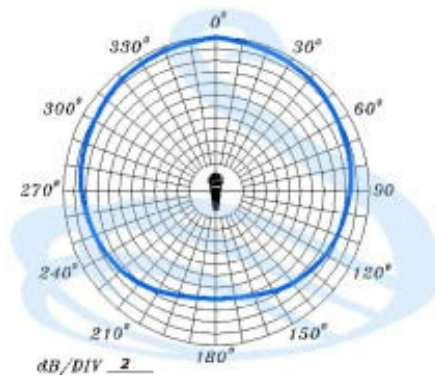


figura 4.14 padrão polar subcardióide acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Este é um microfone muito pouco conhecido, mesmo entre os especialistas em microfones.

Como nos casos anteriores, ele é construído com os parâmetros dosados de modo a se chegar aos resultados pretendidos.

No caso, os resultados pretendidos são um meio termo entre os microfones onidirecionais e os cardióides.

Com muitas variantes.

A figura 4.14 ilustra a ideia. Ainda aqui queremos obter uma figura de oito assimétrica, com assimetria controlada.

Agora, a medida da assimetria não é mais um marco. Estou falando de uma atenuação típica de 3 dB para sons que incidam a 90° e de 8 dB para sons que incidam a 180°.

Esses são os microfones subcardióide, também chamados hipocardióide, ou cardióide amplo, ou ainda, cardióide de ângulo aberto.

microfones multidirecionais Há microfones muito versáteis que podem ser ajustados para produzir dois, três ou mais padrões de captação. Esse gênero de microfone, muito útil nos estúdios e versátil diante de praticamente quaisquer aplicações, tem sido cada vez mais procurado e valorizado no mercado internacional de áudio. Um exemplo destes é o Neumann TLM 170R, que possui um seletor através do qual se escolhe uma de cinco opções de diferentes padrões de captação.

A figura 4.15 exhibe um microfone Neumann TLM 170R, muito apreciado por suas características eletroacústicas, por seu acabamento esmerado e pelos recursos, especialmente a possibilidade de seleção de padrão de diretividade de captação.



**figura 4.15 microfone Neumann TLM 170R
cortesia Neumann Berlin**



figura 4.16 seletor de padrão de captação do microfone Neumann TLM 170R
cortesia Neumann Berlin A figura 16 ilustra o seletor desse mesmo microfone.

Note que trata-se de um seletor de 6 posições, oferecendo as alternativas omnidirecional, subcardiíde, cardiíde, supercardiíde, figura e oito e, finalmente, a última posição “R”, possibilita efetuar o controle de diretividade do microfone através de um controle remoto atuando diretamente na fonte de alimentação do transdutor.

Que é a fonte Neumann modelo N248.

Além disso, o TLM 170R também possui uma chave de atenuação que introduz redução de 10,0dB nos sinais de entrada, concebida para situação de níveis de pressão sonora muito elevados e um filtro passa altas para reduzir a captação de ruídos estruturais.

A figura 4.17 exibe o circuito elétrico simplificado desse microfone.

A análise do correspondente circuito pode revelar ao leitor muitos segredos de como são dosadas as proporções para se chegar aos diferentes padrões de captação.

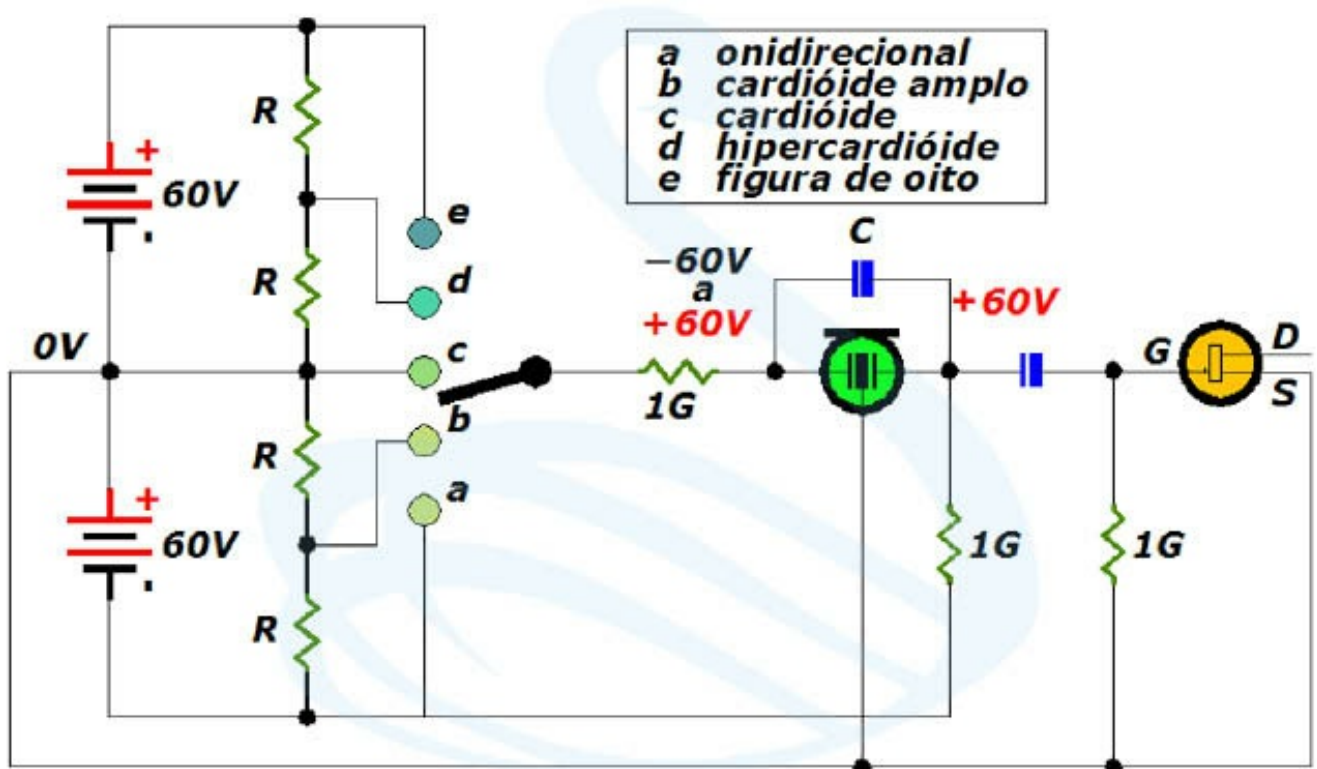


figura 4.17 circuitação do microfone Neumann TLM 170R
cortesia Neumann Berlin 4.2.1.4 Ultradirecionais ou Microfones de Interferência shotgun

Antes de qualquer coisa, vamos entender o princípio da interferência. Veja a figura 4.18.

Ela nos mostra dois tubos de comprimentos diferentes sendo atingidos por uma onda acústica que incide nos tubos fazendo com eles um certo ângulo α .

Uma vez que os sons tenham entrado no interior dos tubos, eles sofrerão mudança de direção para seguir no sentido oposto ao da entrada. O ângulo α e os tamanhos diferentes dos

dois tubos fazem com que os caminhos não sejam os mesmos para os sons que seguem por tubos diferentes. No caso da figura 4.18 a diferença de percurso é $d_2 - d_1$, sendo que o sinal incidindo no tubo mais longo chegará ao diafragma (D) depois do que incide no tubo mais curto. Para uma dada frequência, esse atraso e a distância que lhe corresponde são a medida exata para que os sons que chegam pelos dois tubos atinjam o extremo oposto fora de fase. Onde acabam sendo cancelados.

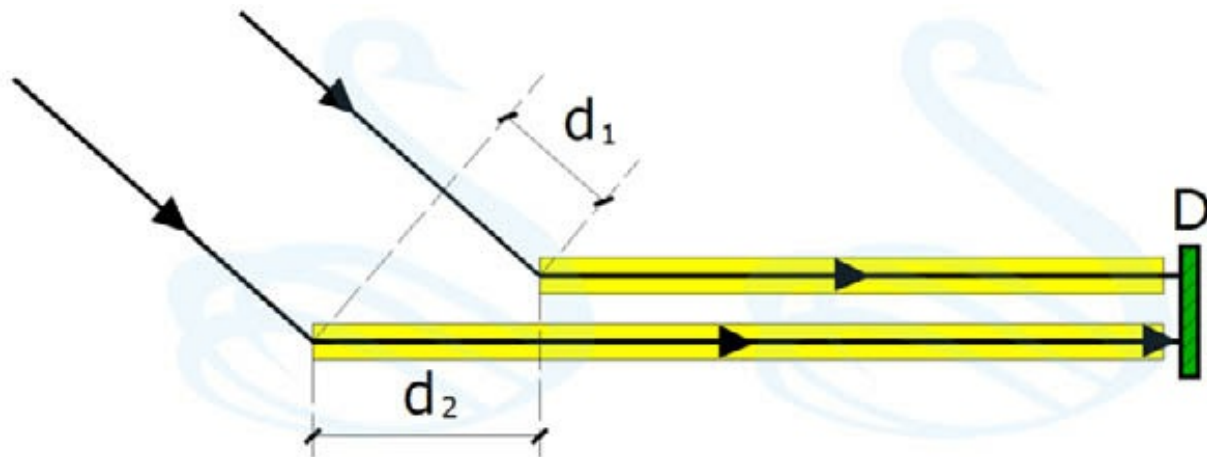


figura 4.18 princípio da interferência empregada em microfones acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Imagine agora um agrupamento de vários tubos paralelos com tamanhos diferentes. Numa das extremidades os tubos estão alinhados. Essa é a extremidade onde fica o diafragma.

Apesar dos sons frontais entrarem nos tubos em momentos diferentes, eles chegam todos juntos ao lado oposto.

Ou seja, atingem o diafragma em fase. Logo, os sons frontais não são atenuados pelo dispositivo.

Entretanto, todos os demais sons, que atingem os tubos lateralmente, como no exemplo da figura 4.18, serão atenuados. E é possível prever que o conjunto de todos os tubos discriminará consideravelmente os sons laterais. Portanto, o dispositivo deverá ser naturalmente muito direcional.

O resultado dessa ideia é ilustrado na figura 4.19. Esse foi um dos primeiros shotguns construídos, e pode ser considerado o avô dos shotguns modernos.

Trata-se de um excelente vintage, fabricação Radio Corporation of América, modelo MI-10006A.



figura 4.19 microfone RCA modelo MI-10006A acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne E os estudos continuaram. Os cientistas entenderam logo que não era preciso fazer tanto alvoroço para se chegar aos mesmos resultados. Sim, porque seria suficiente construir o microfone com um só tubo, desde que ele tivesse várias ranhuras laterais espaçadas umas das outras.

Como mostra a figura 4.20.



figura 4.20 microfone Neumann modelo KMR 82i cortesia Neumann Berlin Para que o padrão polar dos shotguns seja consistente para todas as frequências, o tamanho efetivo do tubo deve ser progressivamente menor à medida que a frequência aumenta. Como não é possível implementar esse atributo fisicamente, a solução vem na forma de um pequeno truque.

As ranhuras do tubo são preenchidas com uma gaze, que aumenta a resistência acústica ao fluxo das ondas de som, tanto mais quanto mais elevada é a frequência. E isso equivale a reduzir progressivamente o comprimento do tubo em consonância com o aumento da frequência.

Para que o padrão polar dos shotguns seja consistente para todas as frequências, o tamanho efetivo do tubo deve ser progressivamente menor à medida que a frequência aumenta. Como não é possível implementar esse atributo fisicamente, a solução vem na forma de um pequeno truque. As ranhuras do tubo são preenchidas com uma gaze, que aumenta a resistência acústica ao fluxo das ondas de som, tanto mais quanto mais elevada é a frequência. E isso equivale a reduzir progressivamente o comprimento do tubo em consonância com o aumento da frequência.

O amortecimento natural que essa manobra produz nas frequências mais elevadas pode ser facilmente compensado com equalização introduzida no pré-amplificador do microfone.

Os tubos de interferência são bastante curtos se comparados com os comprimentos de onda das frequências mais baixas. O que significa que a técnica da interferência não se aplica à região inferior do espectro. Como é desejável que mesmo nessa região o comportamento do transdutor ainda seja bem direcional, a saída é construir o microfone para operar como um verdadeiro transdutor de velocidade capaz de produzir padrão polar cardióide ou hipercardióide nas baixas frequências, mesmo que às custas de se ter lóbulos traseiros como subproduto.

Quase todos os microfones shotguns possuem ranhuras nas partes frontais dos tubos de interferência. O objetivo é aumentar a sensibilidade em cerca de 6 dB, ou pouco mais para os sons frontais. Tal expediente torna o dispositivo mais direcional ainda.

Embora os shotguns possam ser construídos com elementos geradores dinâmicos, praticamente todos os modelos disponíveis no mercado usam condensador.

O tubo de interferência do microfone da figura 4.20 tem comprimento de 39,5 centímetros. Seu padrão polar é apresentado na figura 4.21. A curva menos diretiva é para sinais de 1 kHz e a mais diretiva para sinais de 8 kHz.

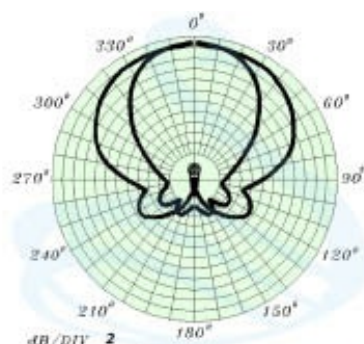


figura 4.21 padrões polares @ 1.000 Hz e @ 8.000 Hz do microfone Neumann KRM 82i acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne fractal de shotguns

A figura 4.22 mostra um arranjo que fiz na década de 90 para atender a uma necessidade específica e inusitada. A teoria da qual me vali é a mesma que está por trás dos falantes line array. Claro, estou me referindo à teoria fundamental das antenas. Que vem sendo empregada há décadas no que se convencionou chamar de “DX”.

Como se percebe, os sinais elétricos provenientes de cada microfone serão misturados ao final. Contudo, antes dessa etapa de processamento é possível atrasar individualmente cada sinal, por meio físicos e/ou eletrônicos.

O objetivo de um arranjo como esse é aumentar a relação de diretividade do conjunto em comparação com a relação de diretividade de cada microfone, individualmente considerado. No caso, arranjei a eletrônica associada e as distâncias físicas para obter redução radical do ângulo vertical de captação. Com efeito, essa ainda é uma necessidade muito comum hoje em dia. Por exemplo, em tribunais e salas corporativas, onde algumas pessoas estão distribuídas pela sala. Naturalmente, todas essas pessoas costumam ficar situadas aproximadamente no mesmo plano horizontal.

Como não encontrei no mercado o que precisava, me vi obrigado a fazer todos os cálculos pertinentes e construir o aparato. Claro que depois disso tudo me senti autorizado a batizar o conjunto final. Chamei-o, então, de fractal de shotguns.

Confesso que não conheço literatura sobre esse tópico específico, exceto pelo que se refere à teoria das antenas, como mencionei anteriormente.

refletores parabólicos



figura 4.23 microfone montado em refletor parabólico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É possível aumentar muito a diretividade de um microfone condensador convencional, acoplando a ele um refletor parabólico. Nesse caso, o foco da parábola deve coincidir com o centro acústico do diafragma do microfone.

Essa montagem é ilustrada na figura 4.23.

O padrão polar de uma montagem dessas sempre depende muito das características do projeto, da espessura física da parábola e também de seu tamanho. É possível utilizar refletores parabólicos de quaisquer tamanhos. Contudo, para que esses dispositivos sejam eficientes em baixas frequências, deverão ter um diâmetro não inferior a cerca de 2 metros.

4.2.2 Elemento Gerador Os principais elementos geradores são o dinâmico, o condensador e o eletreto. Existem alguns outros, não utilizados ou muito pouco utilizados em aplicações profissionais. Exemplos desses são o carvão, já discutido anteriormente, o cerâmico e o cristal.

4.2.2.1 Dinâmicos de Bobina Móvel Os microfones dinâmicos são os mais comuns de todos os microfones e, por isso mesmo, os mais utilizados em áudio profissional. O que melhor caracteriza um elemento gerador dinâmico é seu princípio de operação. Isto é, o elemento condutor imerso no campo magnético se movimenta em resposta às variações do campo de som. Portanto, o que rege o funcionamento dos microfones dinâmicos são os princípios da indução eletromagnética.

Há dois tipos principais de elementos geradores dinâmicos. O de bobina móvel e o de fita.



figura 4.24 elemento gerador de bobina móvel cortesia Cysne Science Publishing Co A figura 4.24 ilustra de forma simplificada a construção de um elemento gerador dinâmico de bobina móvel.

A base flexível serve como apoio para o diafragma flutuante e para a bobina móvel a ele atrelada. A bobina é fisicamente muito fina e fica imersa no campo magnético existente no entreferro do ímã.

Quando o campo sonoro atinge o diafragma, este vibra em resposta.

O movimento do diafragma faz com que a bobina se desloque seguidamente para dentro e para fora do entreferro.

Esse movimento da bobina, que ocorre na presença das linhas de força do campo magnético, induz uma pequena corrente elétrica nos terminais da bobina, corrente essa que é análoga às variações do campo sonoro amostrado.

E assim, a voltagem presente nos terminais da bobina representa o campo de som amostrado pelo diafragma do microfone.

Esse tipo de microfone é um transdutor de velocidade por excelência, já que a voltagem de saída é proporcional à velocidade dos deslocamentos físicos do diafragma.

Os microfones que empregam elemento gerador dinâmico são muito robustos e confiáveis, razão pela qual são bastante apreciados em todos os segmentos do áudio profissional.

As técnicas mais modernas de fabricação de microfones dinâmicos possibilitam que os resultados sônicos sejam realmente excelentes, conduzindo a relações custo/benefício muito vantajosas para praticamente todas as aplicações. Inclusive estúdios de gravação.

4.2.2.2 Dinâmicos de Fita (Ribbon) Mencionei anteriormente que, até onde sei, o primeiro microfone de fita produzido no planeta terra foi o modelo 44-BX, fabricado pela RCA e comercialmente disponibilizado para o mercado em 1931.

Em razão da qualidade intrínseca daquele produto, a quantidade de unidades vendidas superou em larga margem as previsões mais otimistas feitas pelos executivos da RCA. Por sinal, a maioria dessas previsões foi considerada produto de sonhos de mais representavam a lógica do desejo do que figuras abalizadas.

Veja o microfone campeão de vendas na figura 4.25.



figura 4.25 microfone “vintage” RCA modelo 44-BX
cortesia Cysne Science Publishing A figura 4.26 ilustra a construção de um elemento gerador dinâmico de fita.



figura 4.26 ideia de montagem de elemento gerador dinâmico de fita cortesia Cysne Science Publishing Co Nos microfones de fita, que são microfones de velocidade, uma pequena tira metálica muito fina e corrugada, geralmente de alumínio, fica suspensa no interior do entreferro de um ímã permanente, de forma que tenha mobilidade.

A espessura da fita é da ordem de poucas micra, e sua largura típica varia de 2 a 4 milímetros, com comprimento de poucos centímetros. Esse elemento condutivo fica entre os polos de um ímã permanente, podendo flutuar fisicamente em resposta às variações do campo sonoro.

Assim, quando o campo sonoro incide na tira metálica, ela vibra em resposta. E por efeito de indução eletromagnética, desenvolve-se na tira uma voltagem proporcional às variações do campo de som amostrado.

A impedância de saída desse dispositivo é extraordinariamente reduzida, de modo que é empregado um transformador para aumentar a impedância de saída para valores entre 50 e 250Ω.

Vimos anteriormente que quando os dois lados da fita são expostos ao campo de som o padrão de captação polar é o figura de oito.

Nesse caso, em razão da elevada compliância da fita, o microfone se comporta essencialmente como um transdutor de velocidade.

Por razões construtivas, em comparação com outros tipos de microfones, os de fita são muito susceptíveis a produzir ruídos em consequência de movimentos muito rápidos, como vibrações repentinas e efeito dos ventos.

Os primeiros microfones de fita eram muito frágeis. A ponto de danificar o transdutor com simples sopros no diafragma. Em razão disso muitos fabricantes deixaram de produzir essa classe de microfone. Mas os que são fabricados atualmente já são muito mais robustos que os primeiros.

Os microfones de fita também podem ser construídos para que tenham resposta polar onidirecional. Para tanto, um dos lados da fita termina numa cavidade preenchida com material acusticamente absorvedor.

Essa manobra impõe restrições friccionais à fita e o transdutor. Num microfone assim, o comportamento onidirecional resulta porque o transdutor se comporta mais como se fosse um transdutor de pressão e não um de velocidade.

A figura 4.27 mostra o excelente microfone de fita M130, produzido pela Beyerdynamic.



figura 4.27 microfone dinâmico de fita Beyerdynamic, modelo M130
cortesia Beyerdynamic Muitas das características sônicas dos microfones de fita são
excepcionalmente boas. Especialmente na parte das mais altas frequências. A resposta a transientes
também costuma ser de primeiríssima linha.

Por tudo isso, alguns microfones de fita são considerados ideais para gravação de voz. E também como microfone de teste.

4.2.2.3 Condensador

O segundo tipo de elemento gerador mais comum em áudio profissional é o condensador.

A figura 4.28 ilustra a construção de um desses microfones.



figura 4.28 elemento gerador condensador acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O diafragma, feito
de finíssimo filme plástico folheado a ouro, é montado acima de uma peça chamada placa traseira. Esta
é usualmente feita de material cerâmico, também folheado a ouro.

O diafragma e a placa traseira ficam com um afastamento mínimo entre si, sendo o dielétrico o próprio ar. Esse conjunto se comporta como um capacitor, o que dá nome ao transdutor. Mas peraí, capacitor ou condensador?

OK, vamos lá

Ocorre que, no passado, os capacitores eram conhecidos como condensadores. Um velho mal hábito de linguagem que atravessou séculos totalmente incólume. O termo teve origem em 1745, quando Pieter Musschenbroek, um professor de filosofia natural da Universidade de Leiden, Holanda, construiu um capacitor primitivo denominado garrafa de Leiden. Musschenbroek achava que podia “engarrafar” a eletricidade como se ela fosse leite.

Ao tomar um choque tremendo durante alguns testes com sua garrafa, Musschenbroek julgou que o fluido elétrico estava sendo condensado no interior do dispositivo. E passou a chamar sua garrafa de condensador de eletricidade. E logo depois, apenas condensador.

É óbvio que aquele dispositivo não “condensava” nenhuma eletricidade. Como sabemos que ele pode armazená-la até um limite estabelecido por uma de suas características próprias, algo inerente ao próprio componente, denominada capacitância. Mesmo assim o termo “condensador” não deixou de ser usado até os anos 60. Creio eu que por questão de usos e costumes o termo condensador jamais deixou de ser associado aos microfones. Que poderiam muito bem ter sido chamados de microfones capacitor. Por outro lado, o termo condensador lhes cai muito bem mesmo.

O microfone condensador é formado por um capacitor típico de duas placas paralelas. Como vimos acima, uma das placas é o próprio diafragma. Fabricado em chapa metálica ou filme plástico metalizado, com espessura típica de 1 a 10 micras. Móvel e protendido, ele pode vibrar em resposta ao campo de som. O diafragma é montado próximo da outra placa (distância típica de 5 a 50 micras). Essa outra placa é perfurada e feita eletricamente condutiva, com carga elétrica oposta à do diafragma. Esta é a placa traseira, relativamente pesada e sempre fixa.

A capacitância típica de um microfone condensador é da ordem de 40 picoFarads.

Os movimentos do diafragma fazem variar a distância entre as placas e, portanto, a capacitância do dispositivo.

Por serem transdutores controlados pelos deslocamentos dos diafragmas, os microfones condensador devem ser dimensionados de modo que os diafragmas respondam com aproximadamente a mesma amplitude de deslocamento para todas as frequências de seu espectro de trabalho. Ou a saída elétrica do microfone não será consistente ao longo daquele espectro.

Os microfones condensador usam dois princípios para que o padrão polar de captação seja o cardióide. Num deles, uma parte da peça traseira apresenta furos que a vazam completamente, enquanto a outra parte possui furos cegos. Isto é, furos que não vazam a peça. Com isso, a cápsula funciona parcialmente como um transdutor de gradiente de pressão e parcialmente como um transdutor de pressão. O resultado dessa combinação é a resposta polar

cardíóide.

Com o outro princípio, a placa traseira é projetada para ser um dispositivo de atraso acústico, o que se obtém com furos, ranhuras e micro cavidades, cada um destes construído para aumentar a resistência friccional do ar que passa através de si próprio. O resultado é que a peça traseira se transforma num filtro passa-baixas acústico. Como consequência, o microfone passa a se comportar mais como se fosse um transdutor de interferência.

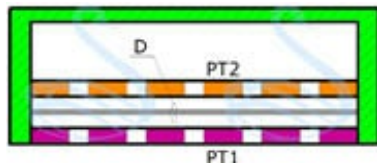


figura 4.29 elemento gerador condensador cortesia Cysne Science Publishing O avanço da tecnologia digital tem possibilitado que a eletrônica seja progressivamente mais “silenciosa”. Por analogia, essa situação faz com que o mercado se torne progressivamente mais exigente em relação à qualidade dos microfones.

Em resposta a essa reivindicação mercadológica, os fabricantes desenvolveram novos produtos e novas tecnologias. Uma destas é o microfone condensador com diafragma e dupla peça traseira. A figura 4.29 ilustra a ideia.

As duas peças traseiras são polarizadas com a mesma voltagem, de sorte que as forças elétricas de atração que agem sobre o diafragma acabam se cancelando. Portanto, o diafragma não é mais polarizado unilateralmente, mas de maneira simétrica. E isso reduz bastante as distorções de 2ª harmônica bem como as distorções provocadas pelo comportamento não linear das peças traseiras, que tendem a se compensar mutuamente.

Como o movimento do diafragma produz variações de voltagens nas duas peças traseiras, a saída de voltagem nesse tipo de microfone é 6 dB superior ao que se obtém com desenhos convencionais. Do mesmo modo, a relação sinal/ruído é correspondentemente aumentada.

Quem quiser experimentar um microfone dessa classe poderá procurar um Sennheiser modelo MKH 40 P48.

pré-amplificadores

As cápsulas dos microfones condensador geram níveis de sinal extraordinariamente débeis. Simultaneamente, a impedância de saída dessas cápsulas é absurdamente elevada. Dificilmente inferior a 1 MΩ.

Essa dupla condição impõe a necessidade de dupla correção. Ou seja, é preciso pré-amplificar os sinais gerados pelo capacitor e reduzir para valores práticos a impedância de saída. Quem se encarrega dessas tarefas são os pré-amplificadores de microfones.

A figura 4.30 exhibe uma circuitação hipotética de um pré-amplificador de microfone condensador, usando transistor de efeito de campo (JFET). No caso, um 2N3819.

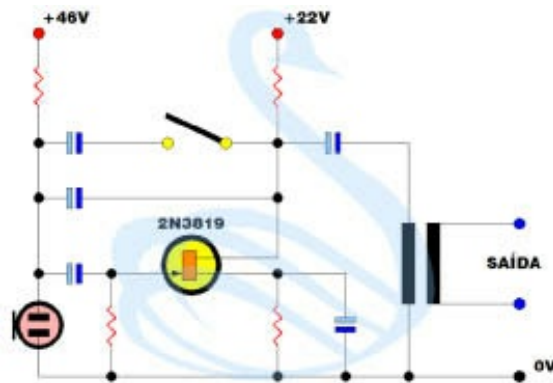


figura 4.30 pré-amplificador de microfone condensador usando transistor JFET

cortesia Cysne Science Publishing Agama dinâmica dos microfones condensador depende muito mais do pré-amplificador do que de suas próprias cápsulas. Por isso, é de vital importância que qualquer pré-amplificador de microfone seja muitíssimo bem projetado. E ainda, que os componentes sejam escolhidos a dedo. A circuitação como um todo deve produzir um mínimo de ruído elétrico. Evidentemente, baixíssimos níveis de distorção em regime de elevadas ampliações são necessidade imperiosa.

É por essa razão que a escolha dos transistores empregados nos pré-amplificadores de microfones condensador é sempre crítica. A característica de baixos níveis de ruído é um dos principais fatores determinantes da escolha.

Afora isso, a circuitação deve ser projetada para que os microfones possam operar com níveis de até 500 Pa (148 dB SPL) sem distorções apreciáveis, ou com níveis bem reduzidos de distorção.

A circuitação dos pré-amplificadores dos microfones condensador também pode ser projetada com combinações de circuitos integrados e transistores bipolares.

valvulados

Os primeiros microfones condensador fabricados tinham sua eletrônica construída com válvulas. Posteriormente, as válvulas deram espaço aos semicondutores.

Mais recentemente as válvulas voltaram à cena.

E agora com força total. Se você comparar diretamente um pré de estado sólido com um valvulado, ambos de boa lavra, entenderá de imediato o motivo desse aparente “saudosismo entusiasmado”.

A figura 4.31 mostra um circuito de pré-amplificador valvulado de microfone condensador.

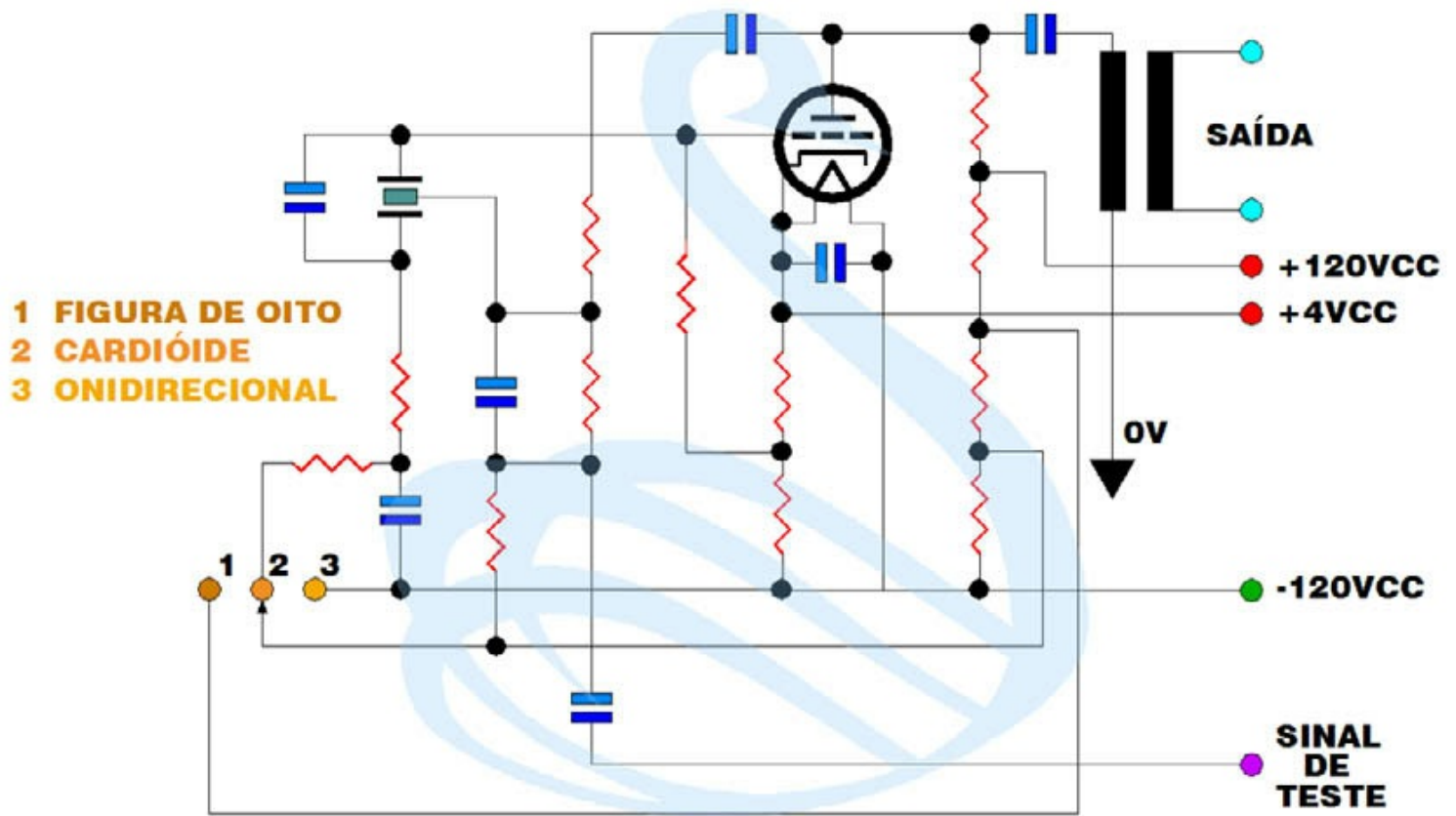


figura 4.31 pré-amplificador valvulado de microfone cortesia Cysne Science Publishing alimentação de energia

Vimos que as cápsulas condensador precisam ser polarizadas. Além disso, os pré-amplificadores só podem funcionar se devidamente alimentados por fonte externa de energia.

Há duas maneiras padronizadas de prover energia aos pré-amplificadores dos microfones: alimentação fantasma e alimentação AB. Ambas são discutidas adiante.

polarização da cápsula condensador A polarização é apenas uma voltagem CC aplicada entre as placas do capacitor.

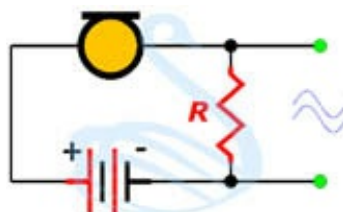


figura 4.32 polarização CC para microfone condensador cortesia Cysne Science Publishing O circuito da figura 4.32 mostra como a polarização é obtida na prática. Note que tudo o que é fundamental são poucos componentes além da fonte de voltagem CC.

O valor do resistor R é sempre calculado em função da mais baixa frequência que o microfone deve responder.

Por exemplo, se essa frequência for F_1 e a capacitância da cápsula for C, então

$$R = \frac{1}{2\pi F_1 C}$$

onde

- F_1 é a mais baixa frequência que se espera que o microfone responda, em Hertz, e
- C é

a capacitância da cápsula, em microFarads Suponha que nosso microfone tenha que responder a partir de 20 Hz. E que a capacitância da cápsula seja 40 pF. Então calculamos:

$$R = \frac{10^{12}}{2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot 40} \cong 2 \text{ M}\Omega$$

O nível de saída da cápsula depende diretamente da voltagem de polarização a que ela é submetida.

Portanto, se as variações de capacitância provocadas pelas ondas acústicas é $c(t)$ e a voltagem de polarização é V , então a voltagem de saída (V_s) da cápsula será:

$$V_s = V \cdot \frac{c(t)}{C}$$

alimentação fantasma (phantom power) O circuito da figura 4.33 mostra como é provida na prática a alimentação fantasma.

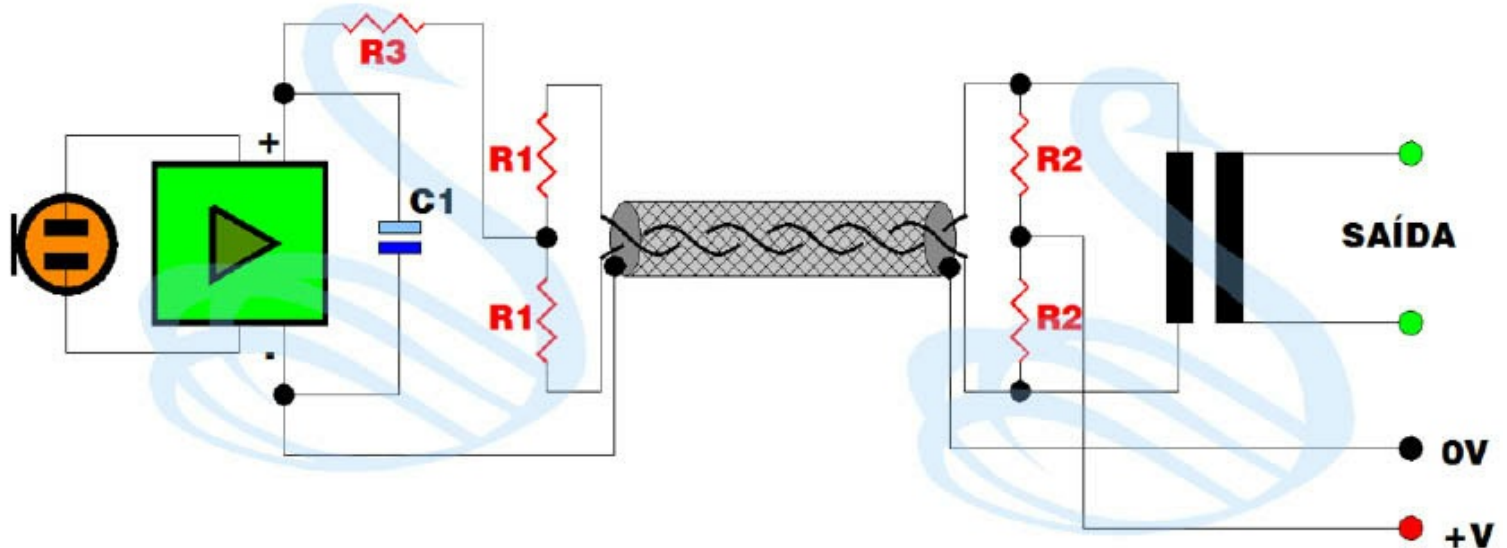


figura 4.33 circuitação típica para provimento de alimentação fantasma cortesia Cysne Science Publishing Todo o procedimento é especificado no documento IEC 1938.

A voltagem CC é aplicada aos dois cabos portadores de sinal de áudio da linha balanceada, nominalmente, aos pinos 2 e 3 do conector na terminação do cabo, através de dois resistores casados, ambos denominados R_2 . O retorno é feito pela blindagem do cabo, ou seja, através do pino 1 do conector.

Quando a entrada balanceada emprega um transformador, a voltagem também pode ser provida através de um tap central desse componente.

Com o retorno sendo feito pela blindagem do cabo, é possível que esse seja um caminho de condução de ruídos, de interferências, de produtos de elos de terra e até mesmo de harmônicos.

A forma de prevenir esse inconveniente é inserindo um elevado valor de resistência CA no circuito de alimentação, que é o resistor R_3 . Juntamente com o capacitor C_1 , o resistor R_3 forma um filtro contra voltagens de ruído e interferência superpostos à alimentação.

Além disso, quaisquer assimetrias dos pares de resistores R_1 e R_2 constituem receptores de ruído, uma vez que essa é uma das possíveis formas de falha do dispositivo de balanceamento. Pois bem, diante desses casos, o resistor R_3 também se encarrega de atenuar os ruídos para os pares de resistores citados.

Os resistores dessa circuitação constituem uma forma de limitação que funciona como uma válvula. Portanto, caso a linha do microfone seja cabeada de forma indevida, os resistores limitarão o fluxo de corrente para o microfone prevenindo danos para o circuito de alimentação e para o microfone.

O documento IEC 1938 estabelece os seguintes parâmetros para a alimentação fantasma:

voltagem	12 ± 1 volt	24 ± 2 volt	48 ± 4 volt
corrente máxima	15 mA	10 mA	10 mA
valor de R_2 (ohms)	680	1K2	6K8

O documento também recomenda que o modelo de microfone indicado pelo fabricante receba o sufixo P12, P24 ou P48, conforme sua alimentação fantasma.

Muitos pré-amplificadores de microfones são desenhados para trabalhar com qualquer valor de voltagem CC, desde 7 até 55 volts CC.

O valor 48 volts possibilita não só a alimentação do pré-amplificador, mas também a derivação da voltagem de polarização com circuitos simples, eficazes e muito confiáveis. Em razão disso, esse valor acabou granjeando a preferência da esmagadora maioria dos fabricantes.

Praticamente todos os mixers comercializados no mercado estão habilitados a suprir essa voltagem. Também há fontes externas e independentes especialmente projetadas e construídas para prover a alimentação fantasma.

O termo “fantasma” deve-se ao fato de que como a voltagem é virtualmente a mesma nos dois condutores de sinal da linha balanceada, a alimentação não é “vista” pela entrada de microfones dinâmicos, já que seu elemento de saída é uma bobina. E bobinas são essencialmente diferenciais. Isto é, só processam diferença de sinal entre seus terminais. Portanto, + 48 volts CC numa extremidade da bobina, e + 48 volts CC na outra extremidade da mesma bobina constituem efetivamente uma situação “fantasma”.

Mas isso é teoria. Na prática, podem ocorrer pequenas diferenças de voltagens CC, também chamadas “offset”. O que tende a deslocar a bobina de seu ponto ótimo de trabalho, que é um ponto central no entreferro, comprometendo o desempenho geral dos microfones.

Não é coisa que ocorra com frequência, mas há casos de danos provocados a microfones dinâmicos por desbalanceamentos da alimentação fantasma.

Evidentemente, os dois condutores da linha balanceada portam sinais de áudio e a alimentação fantasma, simultaneamente.

Quando os microfones dinâmicos são de boa qualidade, recomendo não usar em suas entradas a alimentação fantasma. Nesses casos, as fontes externas independentes certamente serão uma alternativa mais segura.

alimentação AB

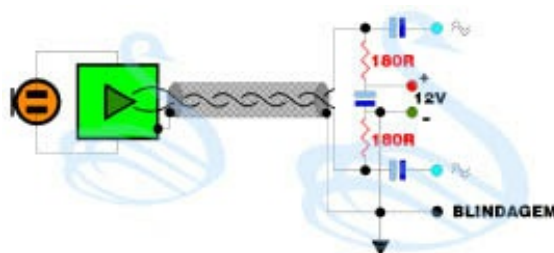


figura 4.34 circuitação típica para provimento de alimentação AB
cortesia Cysne Science Publishing A figura 4.34 exhibe a forma clássica de alimentação AB, também regulada pelo documento IEC 1938.

Evidentemente, ela é de implementação mais simples que a alimentação fantasma.

Os 12 volts CC são aplicados a um capacitor e depois transferidos aos dois condutores de sinal por meio de resistores casados de exatos 180Ω .

Capacitores colocados antes da entrada da carga previnem a entrada de CC para a circuitação de entrada da carga.

No caso da alimentação AB a linha do microfone não precisa ser necessariamente balanceada. Por outro lado, os circuitos de áudio do microfone não podem ser ligados à carcaça, nem à blindagem do cabo.

alimentação dos valvulados Evidentemente, os pré-amplificadores valvulados também exigem fonte de energia. Entretanto, essa é uma alimentação especial em todos os sentidos.

Inicialmente, as voltagens de trabalho das válvulas são muito mais elevadas que a dos semicondutores de estado sólido. Depois, as válvulas precisam de alimentação de filamento, que é sempre uma voltagem reduzida, CC ou CA, mas que, para produzir melhores resultados deve ser estabilizada com muita acuidade.

Portanto, as fontes de energia para os valvulados são sempre especiais, e a cabeação que interliga a fonte ao microfone é do tipo multicondutor.

tamanho do diafragma

Novamente, os primeiros microfones condensador tinham o diafragma muito grande. O que

não chegou a ser um problema, já que essa peça não é carregada com o peso adicional de uma bobina móvel. Desse modo, mesmo diafragmas maiores podem responder muito rapidamente e com considerável acuidade a quaisquer envelopes sônicos, mesmo os caracterizados por fortes ataques.

Em razão do exposto, os microfones condensador geralmente possuem excelentes características sônicas.

Com o tempo, os diafragmas foram sendo fisicamente reduzidos.

Atualmente, há opções de microfones condensador valvulados e transistorizados, ambos com diafragmas pequenos, médios ou grandes.

Em razão de sua qualidade intrínseca, os microfones condensador são parte de qualquer bom estúdio de gravação.



figura 4.35 microfone Neumann M149, com ênfase para o tamanho do diafragma cortesia Cysne Science Publishing Os diafragmas maiores são preferidos para gravar sons com mais conteúdo de baixas frequências.

A figura 4.35 mostra o requisitado Neumann M149, no qual, para maior clareza, assinala com um círculo branco o tamanho do diafragma.

robustez

Até pouco tempo atrás os microfones condensador não eram tão robustos quanto os dinâmicos. Especialmente no que se referia a choques mecânicos e fatores ambientais, a exemplo da umidade. Porém, atualmente isso já não é mais verdade.

Mas como parece que muitos mitos se estendem para bem além do que a realidade recomenda, os microfones condensador não costumam ser empregados em sistemas de reforço de som nem em sistemas móveis, como os utilizados pelas locadoras.

4.2.2.4 Condensador RF

Outra tecnologia aplicada aos condensadores é a de RF, ou radiofrequência. Assim, esse tipo de microfone possui a cápsula, um oscilador de RF e um demodulador.

A cápsula trabalha como se fosse um dispositivo ativo, controlando a frequência ou a fase do um sinal de RF produzido pelo oscilador. Em alguns circuitos ela fica inserida no circuito RF e trabalha como uma impedância que varia continuamente em resposta às nuances dinâmicas do campo acústico amostrado.

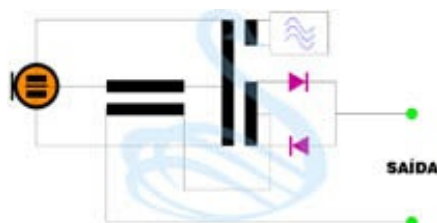


figura 4.36 circuitação típica de microfone condensador RF

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há muitas variedades de microfones condensador RF. Em todos eles a saída é apenas o sinal de áudio já demodulado. Portanto, dificilmente um usuário que não conhece o produto pode identificar se o microfone que está usando é ou não do gênero RF.

Uma das propriedades do condensador RF é que na banda de RF a capacitância da cápsula representa uma impedância bem reduzida. Por exemplo, uma cápsula de 50 pF tem impedância de 300Ω a 10 MHz. Uma grande vantagem dos condensadores RF é que eles dispensam a voltagem de polarização.

Veja um circuito típico na figura 4.36.

O oscilador de RF controlado a quartzo trabalha com uma frequência fixa, geralmente da ordem de 8 MHz. O estágio de demodulação lembra o equivalente de um circuito de rádio convencional. O modulador, que inclui a cápsula, é sintonizado para a frequência do oscilador.

Quando as ondas sonoras atingem a casula, a fase do sinal gerado pelo oscilador é alterada de acordo com as variações da pressão sonora, de modo que os dois diodos ficam submetidos a voltagens diferentes. O resultado é a voltagem modulada na saída.

Os condensadores RF modernos trabalham com AM, isto é, amplitude modulada. Alguns microfones usam uma placa traseira adicional em frente ao diafragma, numa configuração de transdutor simétrico. Nesse caso, a voltagem RF é proporcional à excursão do diafragma e, o sinal de áudio produzido depois da demodulação é caracterizado por níveis extremamente reduzidos de distorção.



figura 4.37 circuitação típica de microfone condensador RF tipo Amplitude Modulada
cortesia Cysne Science Publishing Co.



figura 4.38 microfone Sennheiser MKH 800 P48
cortesia Sennheiser

A figura 4.37 mostra o circuito de um condensador RF tipo amplitude modulada. Exemplo de microfone empregando essa técnica é o Sennheiser MKH 800 P48, ilustrado na figura 4.38.

4.2.2.5 Eletreto

Os microfones com cápsula de eletreto constituem uma classe especial de microfone condensador. Eles usam um diafragma fabricado a partir de uma membrana plástica especial, geralmente à base de politetrafluoretileno, ou teflon. O principal atributo desse material é reter carga elétrica indefinidamente.

As cargas elétricas desordenadas presentes no material, de baixa condutividade, são ativadas por aquecimento e alinhadas na presença de fortes campos elétricos, processo esse que acaba produzindo dipolos. Uma vez resfriado, o material mantém as cargas em seus lugares e as conserva assim durante toda a vida útil do material. Para incorporar cargas negativas o material é submetido à descarga corona, ou bombardeamento de elétrons a vácuo.

O eletreto já era conhecido há décadas, mas só recentemente se chegou a materiais capazes de manter sua integridade elétrica a altas temperaturas e graus variáveis de umidade.

A figura 4.39 mostra uma cápsula eletreto da variedade mais comum.

Algumas cápsulas de eletreto são feitas com o filme servindo diretamente como diafragma. Em outras, mais elaboradas, é utilizada a técnica denominada eletreto posterior.

Nessas, o filme de eletreto é montado sobre a superfície da placa traseira e o diafragma pode, portanto, ser implementado a partir de qualquer material desejado. A cápsula de eletreto segue os mesmos princípios gerais já discutidos para os microfones condensador, exceto pela voltagem de polarização, agora desnecessária.



figura 4.39 cápsula eletreto comum acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como a capacitância dos eletretos é muito reduzida, a impedância de saída é muito elevada para ser utilizada diretamente. Tipicamente esse valor é superior a 1 MΩ. Eis porque todas as cápsulas de eletreto já incorporam um transistor JFET, ou “Junction Field Effect Transistor”. Esse componente carrega a saída do eletreto com impedância ainda mais elevada, tipicamente 10 MΩ, de modo a minimizar perdas de sinal.

Por outro lado, o JFET oferece impedância de saída de fonte tipicamente inferior a 1 KΩ, que é vista pela entrada do pré-amplificador de microfone.

Os microfones de eletreto são tipicamente de baixo custo, muito duráveis, incrivelmente compactos, exigindo pouquíssima alimentação. Apenas o suficiente para energizar o JFET. Portanto, voltagens CC de 1,5 a 12 volts.

Em alguns desses microfones a voltagem de polarização é provida pelo mesmo condutor que leva os sinais de áudio.

Em outros, a polarização é feita através de condutores separados dos condutores de áudio.

Em caso de dúvida, consulte as especificações do fabricante para as configurações exatas de cabeamento.

Em algumas cápsulas de eletreto o transistor e a bateria estão inseridos no invólucro no qual o microfone é montado. Independentemente disso, a alimentação fantasma convencional também pode ser empregada para energizar o amplificador desse tipo de microfone.

As cápsulas de eletreto são encontradas em aplicações de baixo custo, como microfones multimídia empregados em conjunto com computadores, podendo chegar a microfones de elevado desempenho, a exemplo do Sennheiser e664.

Os microfones eletreto têm sido cada vez mais empregados em estúdios de gravação e em aplicações de sistemas de reforço de som.

Outras aplicações mais recentes são os laboratórios, os microfones próprios para medições, e estúdios altamente profissionais.

Na figura 4.40 está a foto do microfone CAD modelo e100², que emprega cápsula de eletreto, produto esse especificamente desenvolvido para uso em estúdios de gravação e em sistemas de reforço de música ao vivo.



figura 4.40 microfone CAD e100²
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 4.2.3 Modo de Usar

4.2.3.1 Microfones de Mão



figura 4.41 microfone de mão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os microfones de mão são os que mais estamos habituados a ver. A figura 4.41 mostra um desses.

4.2.3.2 Microfones de Lapela Os microfones de lapela devem ser pequenos e leves. Geralmente, eles são desenvolvidos para que a resposta de frequência seja a ideal quando o transdutor está fixado na lapela do usuário, ou em outro local equivalente.

Esses microfones são muito usados em auditórios, em jornais televisados e tantas outras

aplicações.

A figura 4.42 mostra um microfone de lapela fixado na gola de uma camisa esporte, acima, e abaixo mostra outro tipo, fixado na gravata.

Na parte inferior direita da figura está a resposta de frequência do microfone que está preso na gravata.

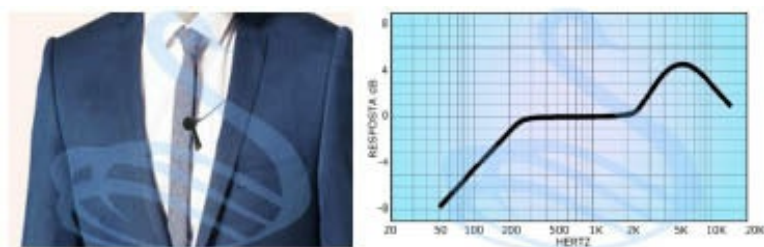


figura 4.42 microfone de lapela acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 4.2.3.3 Microfones de Superfície A figura 4.43 ilustra uma situação bastante comum.

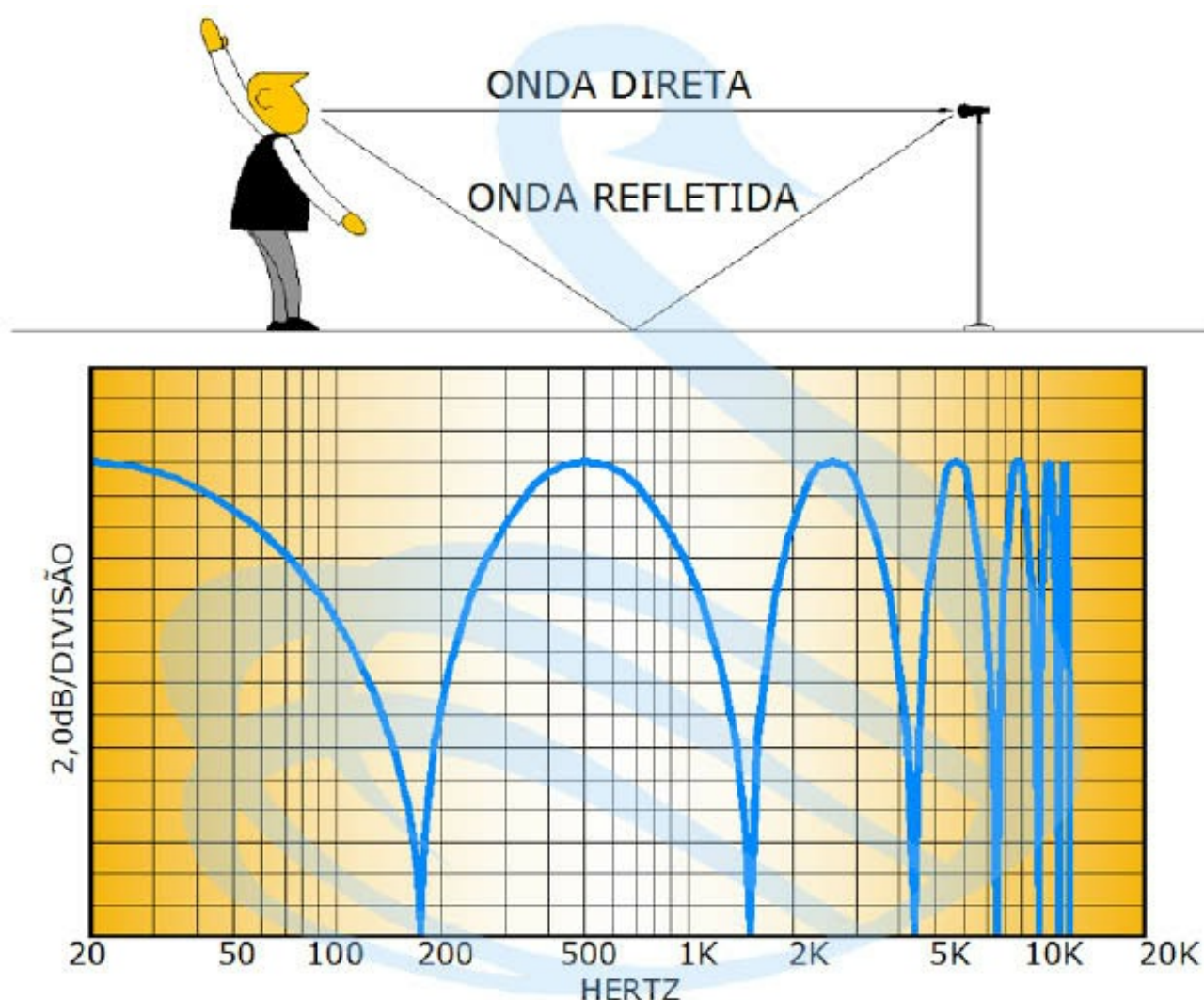


figura 4.43 microfone captando onda direta e onda refletida e efeito resultante, conhecido como efeito filtragem pente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Um microfone captando uma pessoa falando ou cantando a uma certa distância. Ocorre que, além do sinal direto, o microfone também capta uma ou mais reflexões daquele sinal direto, que chegam com um certo atraso em razão da maior distância de viagem do som.

O resultado é a degradação da resposta de frequência por efeito de cancelamentos acústicos. O problema, conhecido como efeito filtragem pente (comb filtering effect) é ilustrado na parte inferior da figura 4.43.

Uma das primeiras maneiras de evitar o inconveniente foi proposta pela ElectroVoice, na forma que ela chamou de “Mike mouse”. Em síntese, é utilizado um microfone cardióide e uma cúpula, como ilustra a figura 4.44.

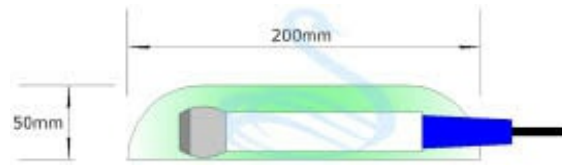


figura 4.44 mike mouse, originalmente proposto pela ElectroVoice acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

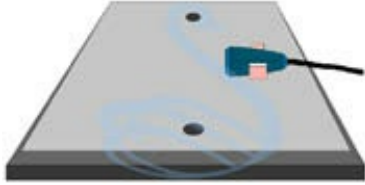


figura 4.45 microfone arranjado para evitar captação de sinais refletidos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra maneira de superar o problema é usar pequenos microfones onidirecionais, fixados do modo indicado na figura 4.45.

Todas essas tentativas de solucionar o mesmo problema, e muitas outras que surgiram com a mesma intenção, acabaram se constituindo num esforço histórico que desembocou no desenvolvimento de microfones altamente especializados, que são os microfones de superfície. A figura 4.46 ilustra dois desses.



figura 4.46 microfones de superfície cortesia Shure Brothers Atualmente, os fabricantes já disponibilizam uma grande quantidade de tipos e modelos de microfones de superfícies.

4.2.3.4 Microfones PZM

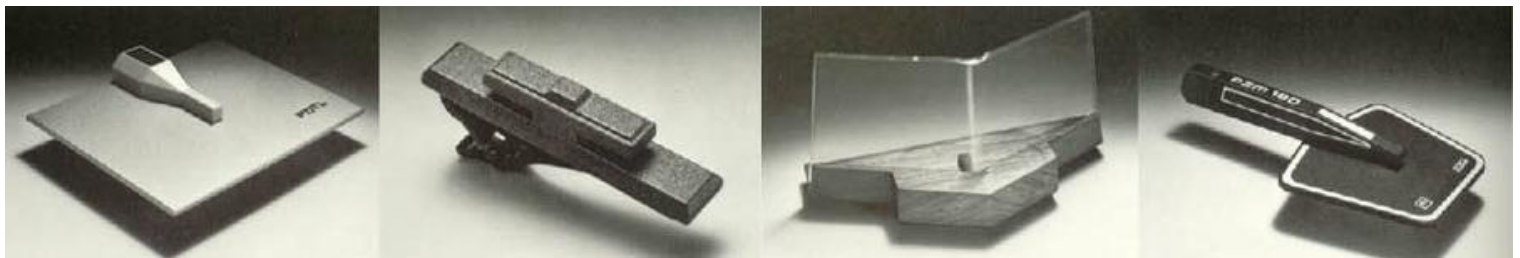


figura 4.47 microfones PZM cortesia Crown

Os microfones PZM também são microfones de superfície. Mas em razão de sua altíssima especialização e popularidade, preferi tratá-los separadamente. PZM é acrônimo para Pressure Zone Microphone, ou Microfone de Zona de Pressão. Outra maneira divisada nos seminários da Synergetics Audio Concepts para resolver o problema da filtragem pente.

O que se chama de zona de pressão é simplesmente o local exato onde se dá a soma coerente de todas as informações dos sons diretos e campo reverberante.

Os microfones PZM, como os da figura 4.47, utilizam exatamente esse conceito. Em essência, eles são cápsulas de eletreto de altíssimo desempenho, com o diafragma montado no interior do invólucro, de forma que só seja possível captar sinais refletidos e não os diretos.

Por não permitir a captação direta no eixo principal do diafragma, os microfones PZM têm uma certa propensão de apresentar picos de resposta na captação feita nesse eixo, o que também é comum a vários outros tipos de microfones.

A acuidade obtida com os microfones PZM, como o da figura, é realmente incrível.

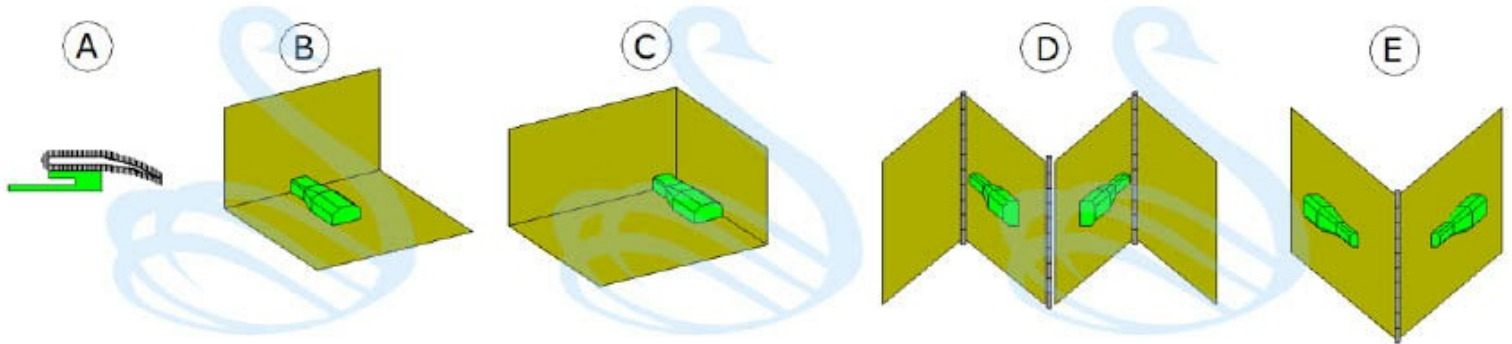


figura 4.48 métodos de aumentar a diretividade dos microfones PZM

(A) aumento de diretividade por absorção acústica (B) aumento do Q do microfone de 2 para 4

(C) aumento do Q do microfone de 2 para 8

(D) e (E) outras formas aumento de diretividade dos microfones PZM

cortesia Donald e Carolin Davis Além disso, com esse tipo de transdutor, é possível ajustar facilmente a diretividade para praticamente quaisquer condições desejadas. Para tanto, são utilizadas as técnicas ilustradas nas cinco partes da figura 4.48. Também é possível alterar a resposta de frequência desses microfones, bastando que se ajuste a distância entre cápsula e base.

4.2.3.5 Microfones de Cabeça



figura 4.49 microfone de cabeça cortesia Jackson family Outra aplicação muito comum dos microfones de cabeça, especialmente entre os músicos entre os que precisam ter as mãos livres o tempo todo.

A figura 4.49 mostra um microfone de cabeça.

4.2.3.6 Microfones para Instrumentos



figura 4.50 microfones próprios para captação de instrumentos musicais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há vários tipos de microfones desenvolvidos para a captação de instrumentos musicais, a exemplo de caixas e tambores, de instrumentos de sopro classe metal e madeira, para captação em posição elevada e tantos outros.

A figura 4.50 mostra alguns desses.

Acima, à esquerda, um microfone para contrabaixo. Acima e no centro, um microfone próprio para captação de violão.

Abaixo e à esquerda, um microfone especificamente projetado para a captação de violas e de violinos.

Abaixo e ao centro, um microfone para captação de sax e de instrumentos similares. E à direita, um microfone próprio para a captação de piano de meia cauda ou maior.

4.2.3.7 Microfones Especiais Assim como são fabricados microfones especialmente projetados para captar instrumentos musicais, há diversos outros projetados para aplicações específicas.

Por exemplo, os microfones botton, caneta, ósculos e outros tantos são desenvolvidos para captação em teatro e em dramaturgia televisiva.

E eventualmente em cinema.

Para os musicais, os microfones mais utilizados são os miniaturizados. As cápsulas de alguns desses podem ser tão pequenas quanto a cabeça de um alfinete. Assim, torna-se bastante fácil “esconder” o transdutor.

4.2.3.8 Microfones Supressores de Ruído Esses microfones são próprios para captação de voz em ambientes com elevado nível de ruído ambiente (NRA).

Para sons que atingem o microfone de longe, o diafragma só é sensível a partir de cerca de 1000 Hz. Por outro lado, a captação muito próxima da voz, entre 2 e 4 centímetros, garante uma resposta de frequência adequada.

Assim, um microfone supressor de ruídos assegura a captação de voz aceitável mesmo em ambientes muito ruidosos, como aqueles onde se constata ruídos de veículos automotores, de aeronaves, *etc.* Além disso, esses microfones valorizam um pouco a região de 1 a 3 kHz, que é a chamada faixa de presença de voz.

A figura 4.51 mostra o microfone Sennheiser MD425, um conhecido e muito utilizado supressor de ruídos.



figura 4.51 microfone supressor de ruídos Sennheiser MD425
cortesia Sennheiser 4.2.3.9 Microfones Pescoço de Ganso (Goose Neck) Os microfones “pescoço de ganso” são muito utilizados em inúmeras aplicações de televisão, como os Talk Shows.

Entretanto, seu uso corporativo também é muito elevado. Outras aplicações incluem Parlamentos, Comissões, Salas de Reunião e outras.

O tamanho do pescoço pode variar de poucos centímetros até algo próximo de 1 metro.

A figura 4.52 mostra um típico microfone com haste pescoço de ganso. No caso, um TOA dinâmico, unidirecional, modelo DM-524S.



figura 4.52 microfone com haste pescoço de ganso TOA modelo DM-524S
cortesia TOA

4.2.4 Especificações 4.2.4.1 Impedância

Os microfones de alta impedância têm maior nível de saída (cerca de + 20,0 dB) do que os de baixa impedância.

Contudo, estes permitem o uso de cabos mais longos sem perda substancial de altas frequências, porquanto os cabos dos microfones de alta impedância acabam se constituindo em capacitores, que curto-circuitam as frequências mais elevadas. Isso limita o uso destes microfones a casos onde os cabos não precisam ter mais do que 6 ou 7 metros de comprimento. Pelo menos quando se deseja ampla resposta de frequência.



figura 4.53 microfone com saída balanceada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 4.54 microfone com saída não balanceada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 4.53 e 4.54 mostram um microfone com saída balanceada, e outro com saída não balanceada, respectivamente.

No caso da linha balanceada, os sinais de áudio são conduzidos pelos condutores 2 e 3, sendo que o condutor 1 é a blindagem do cabo, geralmente em forma de malha trançada ou espiralada.

No lado do pré-amplificador ela vai ligada ao chassi, ou deveria, e este por sua vez deve ser ligado ao sistema de aterramento.

A linha é chamada balanceada porque as voltagens nos condutores 2 e 3 são balanceadas entre si com relação à terra.

Como veremos com mais detalhes adiante.

Na linha não balanceada os sinais de áudio são portados pelo condutor central e pela blindagem (retorno) do cabo coaxial, que também é ligada ao sistema de aterramento. Logo, não há voltagens balanceadas com relação à terra.

A grande vantagem das linhas balanceadas é que as voltagens nos condutores 2 e 3 estão sempre em antífrase (defasamento de 180 graus), e os ruídos eventualmente induzidos nesses condutores ficam em fase, de forma que podem ser facilmente cancelados pelas entradas balanceadas.

Isso não acontece com as linhas não balanceadas.

Quando os microfones são de baixa impedância, os ruídos na linha, que são intrinsecamente de alta impedância, não conseguem sustentar voltagens e correntes elétricas elevadas, o que é uma forma da linha rejeitar os ruídos.

Geralmente, os microfones de baixa impedância e linha balanceada são os únicos que permitem empregar cabos muito extensos com pouco risco de captação de ruídos via cabo. Essa é a razão de sua preferência em áudio profissional.

A contrapartida é que o nível de energia elétrica na saída desses transdutores é usualmente débil, o que não chega a ser sequer um inconveniente, ao menos se o fato é levado em conta.

De outra forma, todo o projeto poderá ficar comprometido, pois o baixo nível de saída pode não possibilitar a obtenção do nível de pressão sonora desejado nos locais mais afastados dos falantes. E também, poderá haver problemas de relação S/R.

4.2.4.2 Respostas de Frequência

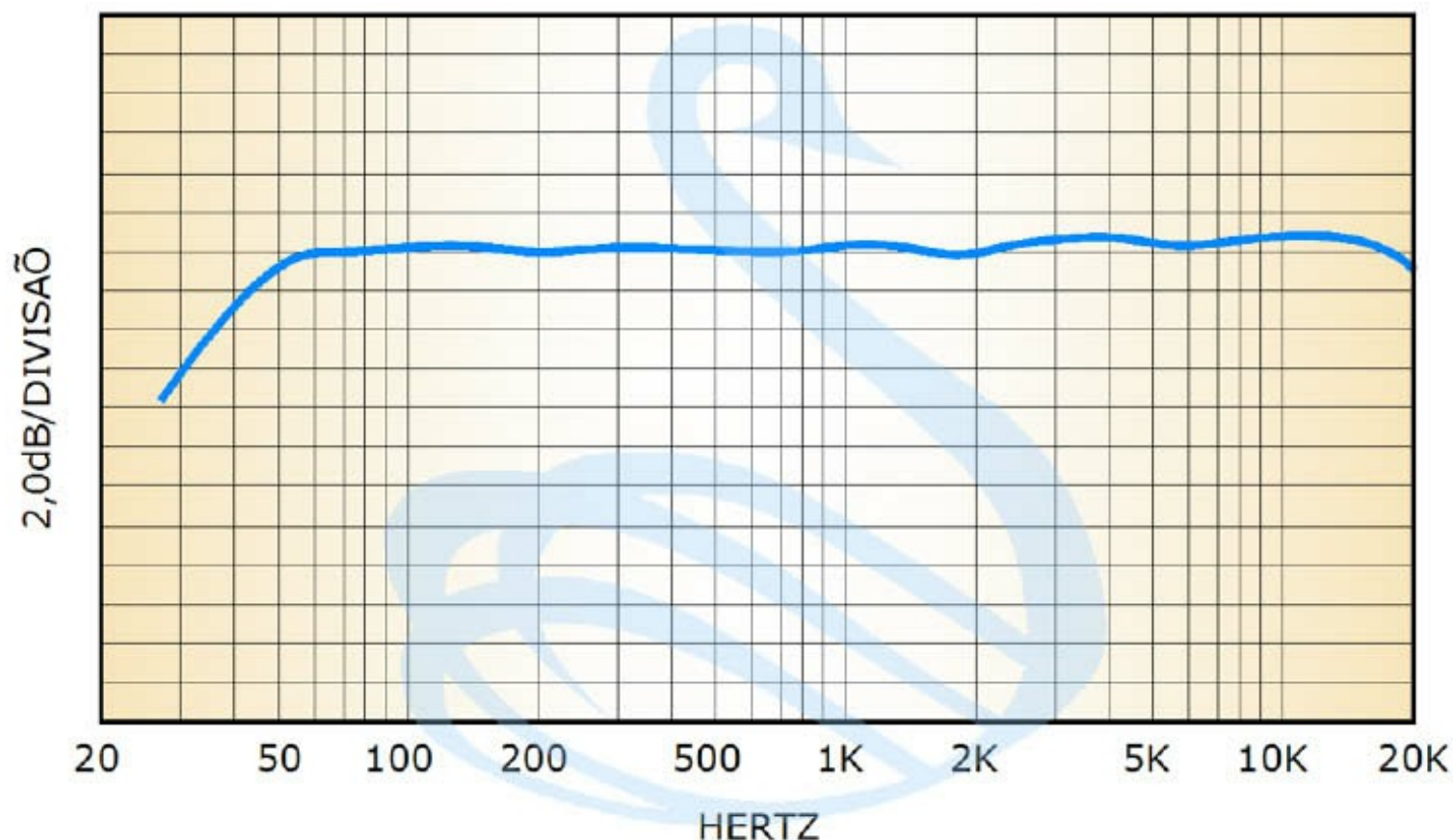


figura 4.55 curva de resposta de frequência de microfone cortesia JBL Professional As respostas de frequência dos diversos tipos de microfones são muito diferentes.

As informações dos fabricantes devem ser oferecidas graficamente, como na figura 4.55.

O engenheiro de áudio as utiliza para selecionar os microfones de acordo com suas necessidades.

Por exemplo, um microfone que tenha resposta de frequência subindo no gráfico, da esquerda para a direita, evidencia o brilho de qualquer instrumento musical de sopro.

Os microfones cardióide apresentam uma característica própria, que é o efeito proximidade, ilustrado na figura 4.56.

Ela acrescenta corpo em baixas frequências para cantores com voz “fraca”, quando a captação é feita bastante próxima.

Os microfones para comunicação geralmente possuem resposta de frequência com pico de presença moderado em médias frequências, o que ajuda a aumentar a inteligibilidade da voz transmitida.

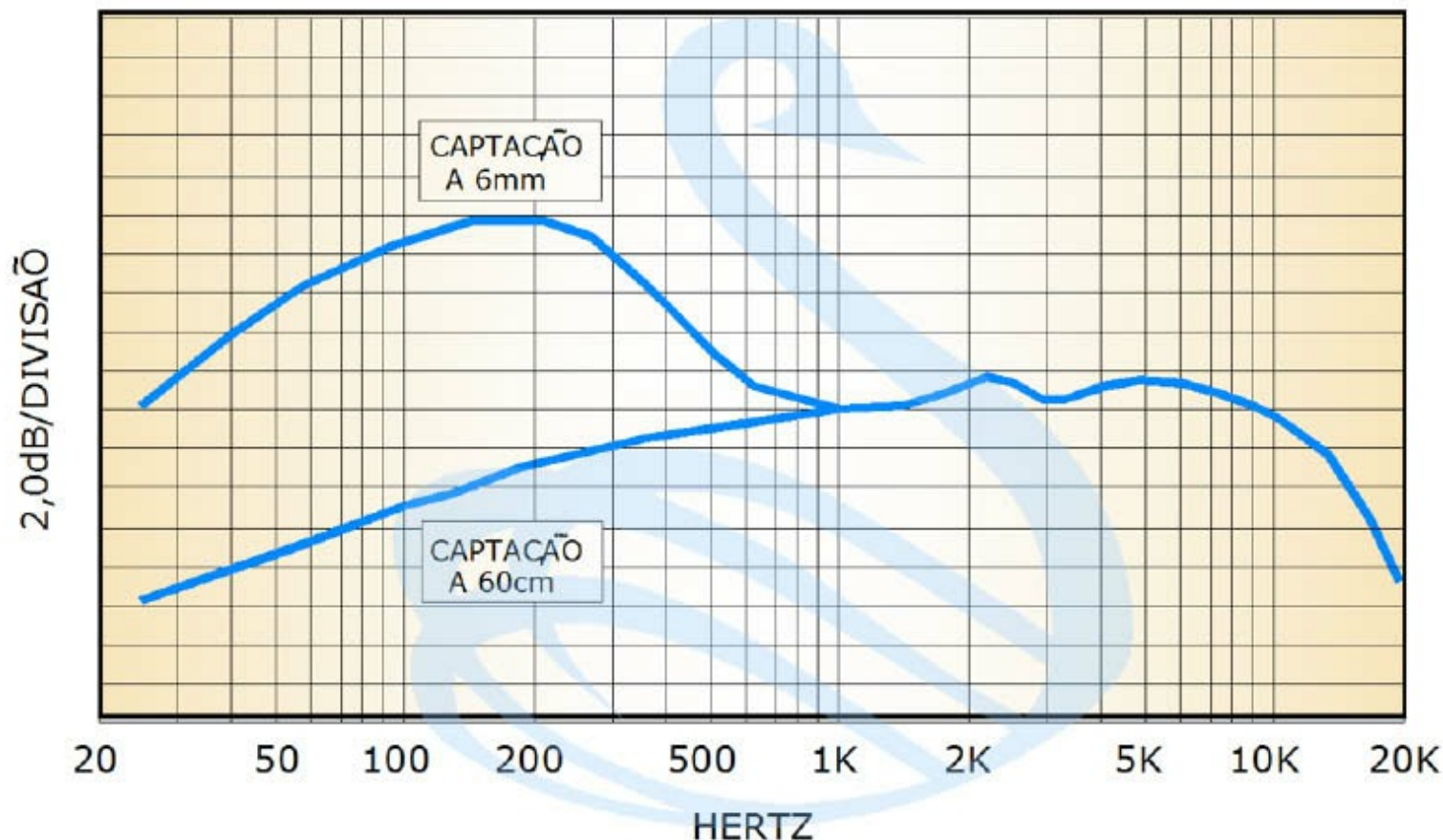


figura 4.56 ilustração do efeito proximidade, típico de microfones cardióide cortesia ElectroVoice, Inc.

Respostas de frequência extraordinariamente planas são desejáveis para reprodução dos sons com muita fidelidade, sendo boas alternativas para estúdios, e mesmo para apresentações musicais.

Respostas de frequência que não favorecem os graves podem ser selecionadas, com excelentes resultados, como por exemplo para evitar certos ruídos ambientais, tipicamente de baixas frequências, e até mesmo para favorecer os naturalmente elevados RT_{60} de baixas frequências, que caracterizam vários ambientes fechados.

4.2.4.3 Sensibilidade Como muitos fabricantes oferecem profusão de dados sobre seus produtos, e outros não, o engenheiro de áudio deve estar preparado para medir as características de cada modelo.

Tendo falado anteriormente de nível de energia elétrica na saída dos microfones, precisamos pensar agora no nível de pressão sonora a que está sujeito o microfone, e relacionar esses parâmetros, o que, em síntese, significa aferir sua sensibilidade. Ou seja, qual é a saída elétrica para um campo acústico conhecido.

O que se faz na prática é deixar o microfone num campo acústico conhecido (CAC) e medir com um milivoltímetro a voltagem em seus terminais a circuito aberto (TCA).

Um dos campos acústicos usados como referência é o nível de pressão sonora 74 L_p . Muitos especialistas não acham a técnica aceitável, pois esta referência fica muito próxima do

nível de ruído típico de um sem número de locais. Como mostra a tabela 6.2 do capítulo 6. Inúmeros fabricantes e consultores preferem a referência 94 L_p, o que parece muito mais lógico. De preferência, esse campo acústico será produzido numa banda passante de 200 Hz a 5 kHz.

Imaginemos ter em mãos um microfone com impedância de 150 ohms, do qual queremos saber a sensibilidade. Colocamos o mesmo no campo de 94 L_p e medimos em seus terminais uma TCA de 1 milivolt. A sensibilidade é calculada pela expressão

$$S_v = (20 \log TCA + 74 - CAC) \text{ dB} / 1V / 1 \text{ dina} / \text{cm}^2 \quad (4.2)$$

Em nosso caso,

$$S_v = (20 \log 0,001 + 74 - 94) = -80,0 \text{ dB} / 1V / 1 \text{ dina} / \text{cm}^2$$

Ou seja, menos 80 dB referidos a 1 volt, referidos a 1 dina por cm² (1 microbar, ou 0,1 Pascal).

Se você quiser saber qual é a TCA em volts, conhecendo a sensibilidade calculada a partir dela, use a expressão

$$TCA = 10^{\left[\frac{S_v - 74 + CAC}{20} \right]} \text{ volts} \quad (4.3)$$

Da mesma forma, o campo acústico conhecido, em L_p, pode ser calculado pela expressão

$$CAC = (20 \log TCA + 74 - S_v) L_p \quad (4.4)$$

É muito comum precisarmos saber qual é o nível de saída dos microfones em dBm, como veremos adiante, inclusive com exemplos. Essa figura é usualmente chamada de nível de potência (power level).

Seu valor é determinado pela expressão

$$S_{np} = (S_v - 10 \log Z + 44 \text{ dB}) \text{ dBm} / 10 \text{ dinas} / \text{cm}^2 \quad (4.5)$$

onde

- S_{np} é o nível de potência, e
- Z é a impedância do microfone em Ω

Em nosso caso

$$S_{np} = (-80 - 10 \log 150 + 44 \text{ dB}) = -58 \text{ dBm} / 10 \text{ dinas} / \text{cm}^2$$

Isto é, menos 58 dBm referidos a 10 dinas/cm² (10 microbar, ou 1 Pascal).

Da mesma forma que antes, se quisermos calcular S_v a partir de S_{np} usamos a expressão

$$S_v = S_{np} + 10 \log Z - 44 \text{ dB} \quad (4.6)$$

E para calcular Z em ohms a partir de S_v e de S_{np}

$$Z = 10^{\left[\frac{S_v - S_{np} + 44 \text{ dB}}{10} \right]} \Omega \quad (4.7)$$

Há também um padrão de sensibilidade cuja forma de medição foi proposta pela Electronic Industries Association (EIA) dos Estados Unidos, que é

$$G_m = (S_v - 10 \log Z_m - 50 \text{ dB}) \text{ dB} \quad (4.8)$$

onde G_m é a sensibilidade EIA e Z_m a impedância média do microfone, em ohms No caso de nosso exemplo

$$G_m = (80 - 10 \log 150 - 50 \text{ dB}) = 152 \text{ dB}$$

Também é possível calcular

$$S_v = G_m + 10 \log Z_m + 50 \quad (4.9)$$

e

$$Z_m = 10^{\left[\frac{S_v - G_m - 50 \text{ dB}}{10} \right]} \quad (4.10)$$

4.2.4.4 Ruído Térmico e Relação Sinal/Ruído O ruído térmico de um microfone (TN), referido a 1 volt, é dado pela expressão

$$\text{TN} = (-198 \text{ dB} + 10 \log \text{LFX} + 10 \log Z) \text{ dB} / 1 \text{ volt} \quad (4.11)$$

onde

- LFX é a largura de faixa em Hz Se nosso microfone tivesse uma resposta de frequência nominal de 40 Hz a 17 kHz, a LFX seria igual a 16960 Hz, e a expressão anterior ficaria

$$\text{TN} = -198 + 10 \log(16.990) + 10 \log 150 = 134 \text{ dB} / 1 \text{ volt}$$

Então podemos calcular a relação S/R do microfone para um campo acústico de 74 L_p .

$$\text{relação S / R} = (S_v - \text{TN}) \text{ dB} \quad (4.12)$$

Em nosso caso,

$$\text{relação S / R} = 80 - 134 = -54 \text{ dB}$$

Com o aumento ou redução do campo acústico há um correspondente aumento ou redução da relação S/R, na mesma proporção dos decibels alterados. Isto é, para campo acústico de apenas 60 L_p, o microfone de nosso exemplo teria relação S/R de apenas 40 dB. Para campo acústico de 100 L_p a relação S/R subiria para 80 dB.

Mas ainda há outra maneira de se chegar à relação S/R. Acha-se o ruído de entrada equivalente (REE) em dBm através da expressão

$$REE = (-174 + 10 \log LFX) \text{ dBm} \quad (4.13)$$

Em nosso caso

$$REE = -174 + 10 \log(16.990) = -132 \text{ dB}$$

e a relação S/R fica

$$\text{relação S/R} = S_{mp} - REE \quad (4.14)$$

No caso de nosso exemplo:

Para campo acústico de 94 L_p

$$\text{relação S/R} = -58 - (-132) = 74 \text{ dB}$$

e para campo acústico de 74 L_p

$$\text{relação S/R} = -58 - 20 - (-132) = 54 \text{ dB}$$

4.2.5 Compatibilização e Resultados A importância de compatibilizar o nível de saída do microfone com a entrada do pré-amplificador ou mixer é que se os níveis forem excessivamente elevados, terão que ser atenuados, e se forem muito baixos causarão problemas de baixa relação S/R.

Também cabe observar que trabalhar com respostas de frequência muito mais amplas do que necessário aumenta o ruído térmico do microfone, reduzindo, por via de consequências, a relação S/R.

Tudo o que foi visto aqui aplica-se apenas ao eixo principal dos microfones. As coisas podem mudar, tanto para direções fora do eixo principal, como para frequências muito altas ou muito baixas.

Mesmo microfones onidirecionais tornam-se direcionais em frequências elevadas. O que nos leva a uma outra questão: onidirecionais ou direcionais?

De modo geral, microfones onidirecionais são recomendáveis, pois não só sua resposta de frequência é mais ampla do que a de um equivalente direcional, mas principalmente porque

eles proporcionam ganho acústico superior, o que é sempre desejável.

Por outro lado, poderá ser obrigatório trabalhar com microfones direcionais por problemas potenciais de microfonia, determinados pelas características acústicas dos ambientes fechados.

Nesses casos, deve-se ter muito cuidado com as seguintes situações: captação muito próxima, em razão do efeito proximidade, uso de microfones de lapela, e quando o microfone é montado rente a uma superfície como o chão ou uma mesa, com o objetivo de captar também o som refletido pela superfície.

4.2.6 Microfones Sem Fio Um sistema de microfone sem fio é constituído basicamente de 3 elementos: o microfone, o transmissor e o receptor.

Os sinais de áudio gerados pelo microfone são levados através de fio ao transmissor, que os converte num sinal de rádio modulado em frequência (FM). O sinal de rádio é transmitido por uma antena ligada ao transmissor, e captado por uma ou mais antenas associadas ao receptor. Então, este elemento converte o sinal de rádio nos sinais de áudio originais, concluindo a cadeia.

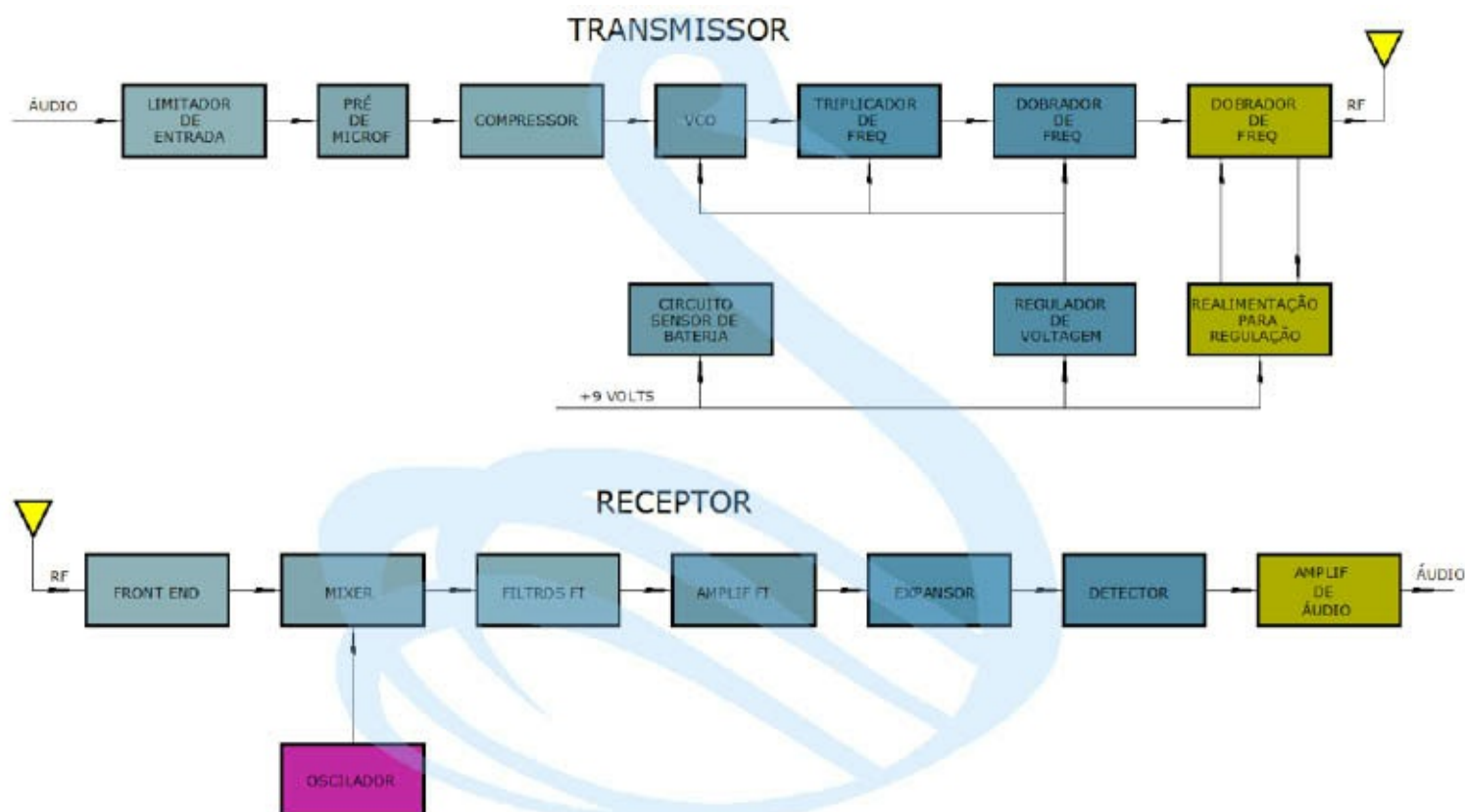


figura 4.57 princípio básico de transmissão e recepção de microfone sem fio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Em princípio, qualquer microfone pode ser utilizado num sistema de microfones sem fio. Com qualquer elemento gerador, com qualquer padrão de captação, e assim por diante.

Entretanto, as opções geralmente são exercidas pelas aplicações de cada caso. E os mais requisitados são os microfones de lapela, os de mão, os shotguns, os equipados com arcos para uso em cabeça, além dos PZM e dos de superfície.

Quanto aos transmissores, há modelos com grampo para uso em cintos, destinados aos

microfones de lapela (ou uso em teatro), os construídos no próprio corpo do microfone, e os plugáveis, que aceitam vários tipos de microfones, e até mesmo aparelhos de áudio.

Os receptores de qualidade apresentam diferentes níveis de saída de áudio, várias impedâncias de saída, e diferentes tipos de conectores, de modo que possam ser utilizados com quaisquer sistemas de áudio. Há dois tipos básicos de receptores. Os sem diversidade, que usam uma só antena, e os com diversidade, que usam duas ou mais antenas.

O diagrama de blocos simplificado da figura 4.57 mostra as principais seções utilizadas no processo de transmissão/recepção de um sistema de microfones sem fio.

4.2.6.1 Transmissor

Os sinais provenientes dos microfones são levados por fio ao chamado front-end do transmissor. A primeira etapa do processamento é a limitação (mais detalhes sobre os limitadores adiante), que lá está nos melhores sistemas para prevenir que picos de sinal sobrecarreguem os circuitos do transmissor, e também, para que esses picos não sobremodem a portadora de rádio.

Uma vez limitados, os sinais seguem para a pré amplificação. A ideia é elevar os níveis dos sinais o suficiente para que eles possam sofrer processamento posterior sem adição de níveis de ruído em grau significativo. Esta seção de ganho não aplica ganho linearmente aos sinais. Ao invés disso, é um processamento em forma de pré ênfase. Que é o aumento gradativo dos níveis dos sinais, tanto maior quanto mais altas são as frequências.

A técnica da pré ênfase é utilizada complementarmente. Isto é, posteriormente, no receptor, há o processamento complementar inverso, que é a de ênfase. Ou a atenuação progressiva dos sinais em função da frequência, na medida inversa da pré ênfase. E nesse processamento são atenuados em aproximadamente 10,0 dB os chiados (hiss) produzidos pelo linque de rádio.

A seção de compressão (mais detalhes sobre os compressores adiante) é utilizada em todo e qualquer transmissor de sistema de microfone sem fio de qualidade. Esta técnica é a maior responsável pela redução dos ruídos. As taxas de compressão dos sistemas topo de linha estão sempre no entorno de 2:1. Novamente, durante a recepção o receptor se incumba do processamento complementar, que é a expansão. Com o que se restabelece a gama dinâmica original.

O próximo bloco no diagrama é o VCO. Abreviatura para “Voltage Controlled Oscillator”. Esse oscilador controlado por voltagem trabalha com um tipo especial de capacitor, denominado varactor, cuja capacitância varia de acordo com os níveis de voltagem dos sinais de áudio. O que produz o sinal de FM a ser transmitido.

Antes de ser entregue aos estágios de saída, o sinal de FM tem sua frequência multiplicada

por estágios subsequentes, até que seja atingida a frequência de transmissão desejada.

O último estágio do transmissor amplifica o sinal, agora chamado de RF (radiofrequência), que é encaminhado para a antena.

O FCC (Federal Communications Commission) norte americano estabelece em 50 mW a máxima potência que pode ser transmitida na faixa de VHF. Para a faixa de UHF o limite é 250 mW. Entretanto, ao contrário do que muitos acreditam, o particular nível de potência com que um transmissor opera não estabelece sozinho o alcance do sistema, nem tampouco sua qualidade. Com efeito, o papel da antena é tão importante quanto a potência transmitida. E os cuidados com o projeto dos circuitos do transmissor e receptor, provavelmente mais importantes ainda.

As antenas que equipam a maioria dos bons transmissores são do tipo $1/4$ de onda.

4.2.6.2 Receptor

O diagrama de blocos do receptor mostra que os sinais são captados pela antena, geralmente também do tipo $1/4$ de onda.

O front-end do receptor é uma sequência de dois ou três filtros. Nos sistemas mais simples os filtros são convencionais. Nos produtos mais sofisticados os filtros são ressonadores helicoidais. Seja lá como for, essa sequência assume o comportamento de um único filtro passa bandas, que permite apenas a passagem da frequência da onda portadora. Portanto, eliminando ou reduzindo muito outras frequências de RF, acima e abaixo da portadora, que possam estar presentes na entrada do receptor.

Sem exceção, os melhores receptores de sistemas sem fio são do gênero super heteródino. O termo apenas descreve um receptor que gera uma frequência destinada a ser misturada aos sinais de entrada no receptor. Essa frequência é denominada frequência local, e quem a produz é um oscilador, por razões óbvias chamado oscilador local. A mistura é feita na seção misturadora de RF. Como resultado da mistura surgem dois sinais. Um cuja frequência tem a soma das frequências dos sinais combinados, e outro, cuja frequência é sua diferença. Como o projetista do sistema sem fio determina a frequência da portadora, que é a frequência do sinal de entrada no receptor, para que resulte uma frequência diferença desejada, basta que seja escolhida adequadamente a frequência do oscilador local. Essa frequência diferença é chamada frequência intermediária, ou FI.

O diagrama de blocos mostra que a saída da seção misturadora é diretamente ligada na entrada da seção de filtragem de FI. E esta é a maior responsável pela seletividade do receptor do sistema.

Estamos falando de uma das especificações mais importantes de qualquer sistema de

microfones sem fio. A seletividade do receptor descreve sua habilidade de rejeitar ruídos e sinais indesejados presentes em canais adjacentes ao canal utilizado.

A frequência do sinal soma é muito elevada para ser reconhecida pela seção de filtragem de FI, de modo que acaba rejeitada. E apenas a frequência diferença, ou FI, é aceita. Essa frequência é precisamente o que se quer recuperar. E essa é a técnica de seleção denominada filtragem de FI.

Acompanhemos isto com um exemplo hipotético.

O sinal na antena do receptor tem frequência de 190,7 MHz. A frequência local gerada no oscilador local é 180,0 MHz. A soma dessas frequências é 370,7 MHz, e a diferença 10,7 MHz. O filtro pode ser projetado para trabalhar com uma FI igual a 10,7 MHz, de forma que a diferença desejada será exatamente o que se obterá na saída do filtro. Quanto mais estreita for a banda passante do filtro neste estágio, melhor. Há filtros de FI com banda passante de 300 kHz, como os cerâmicos. Mas há outros, como os filtros de cristal com 6 polos, capazes de apresentar bandas passantes de apenas 40 kHz. Na prática, a maioria dos sistemas de microfones sem fio utiliza mesmo FI de 10,7 MHz.

Uma vez obtido o sinal desejado, ele é amplificado pelo amplificador de FI.

O detector, ou discriminador, é o circuito que converte os sinais de rádio modulados em frequência em sinais de áudio. Há diversas técnicas de se fazer a detecção. As duas mais usadas são a detecção por quadratura, e a implementação digital de contagem de pulsos. O detector de quadratura usa as rotações de fase para gerar um sinal CC, de voltagem variável, que é o próprio sinal de áudio.

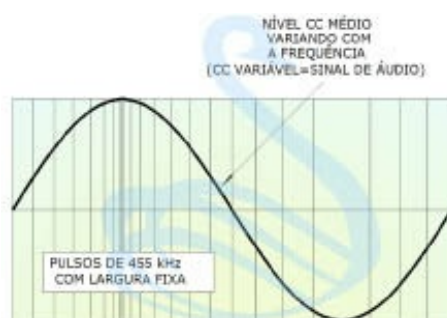


figura 4.58 atitude de um detector de contagem de pulsos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O sinal já amplificado é dividido em duas partes. Cada uma delas passa por um circuito de rotação de fase. A seguir, os sinais são novamente combinados. Mas já com diferença de fases de 90°. Quando isso acontece, diz-se que os sinais estão em quadratura. Daí o nome do detector. O nível médio do sinal resultante desta combinação está diretamente relacionado com a rotação de fase, e conseqüentemente, com a frequência do sinal de RF.

A figura 4.58 ilustra o resultado obtido com a detecção.

No caso do detector digital de contagem de pulsos, o preferido pelos fabricantes dos melhores sistemas de microfones sem fio, o circuito gera uma sequência de pulsos CC de larguras idênticas e muito pequenas, cujos intervalos são controlados pela frequência do sinal de rádio. Assim, quando as frequências são mais altas os intervalos entre os pulsos CC são

menores, e vice-versa. Desse modo, a voltagem média do sinal pulsado a qualquer instante é proporcional à frequência do sinal de rádio. E aí temos o sinal de áudio já detectado.

Independentemente do processo de detecção, os sinais são então expandidos para compensar a compressão imposta durante a transmissão, sendo a seguir amplificados para uso.

4.2.6.3 Recepção com Diversidade

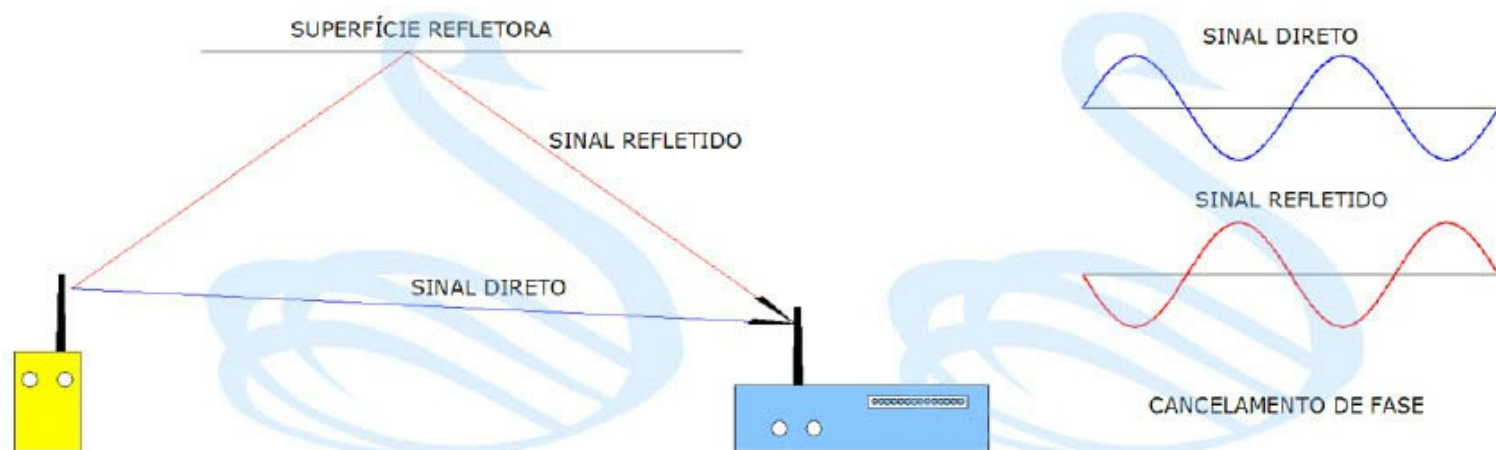


figura 4.59 como acontece a recepção por vias múltiplas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A origem latina do termo “diversidade” não deixa margem para quaisquer dúvidas. Ainda assim, a recepção com diversidade é um dos conceitos menos entendidos quando se lida com sistemas de microfones sem fio.

A figura 4.59 ilustra o que é a recepção por vias múltiplas. Trata-se de uma condição na qual o receptor recebe o mesmo sinal de rádio duas ou mais vezes. Inicialmente, a antena capta o sinal vindo diretamente da antena transmissora.

A seguir, ela capta um ou mais sinais que são refletidos em superfícies refletoras. Como os sinais refletidos chegam na antena depois dos sinais diretos, há uma diferença de fases entre o sinal direto e cada um dos sinais refletidos. O que pode resultar na atenuação dos sinais recebidos, podendo chegar ao cancelamento.

O fenômeno não é privilégio dos sistemas de microfones sem fio. Acontece com nossos rádios FM, com nossas televisões, *etc.*

Contudo, ao contrário destes, os microfones sem fio são utilizados principalmente para permitir a mobilidade física do usuário. E assim, a possibilidade da recepção por vias múltiplas aumenta consideravelmente.

A única razão de ser da recepção com diversidade é reduzir ou evitar este inconveniente.

No receptor com diversidade são usadas duas ou mais antenas. Toda a filosofia da recepção com diversidade se baseia na elevada improbabilidade de que os sinais sejam simultaneamente de baixa qualidade em duas ou mais antenas. E tira-se partido disso para aproveitar sempre o melhor dos sinais recebidos.

Por isso, as antenas devem estar separadas por uma distância mínima, denominada distância de diversidade.

O que visa assegurar que os sinais captados pelas diferentes antenas não guardem relação entre si, o que, se ocorresse, colocaria por terra todos os esforços havidos com a diversidade.

Na diversidade passiva, o receptor é convencional. São usadas duas antenas acopladas por um combinador simples. As antenas ficam fisicamente separadas por mais do que 1/2 comprimento de onda.

A desvantagem dessa técnica é que os sinais nas duas antenas podem ser ambos de qualidade, mas se eles estiverem em oposição de fases haverá cancelamento. Assim, esta técnica não é utilizada em sistemas profissionais. Para estes, as três técnicas mais utilizadas são o que nos mostra a figura 4.60.

Na diversidade com comutação de antena de fase invertida, uma das antenas sofre inversão de fase, e ambas são ligadas ao mesmo receptor através de um seletor. O seletor é atuado quando o ruído atinge um certo patamar.

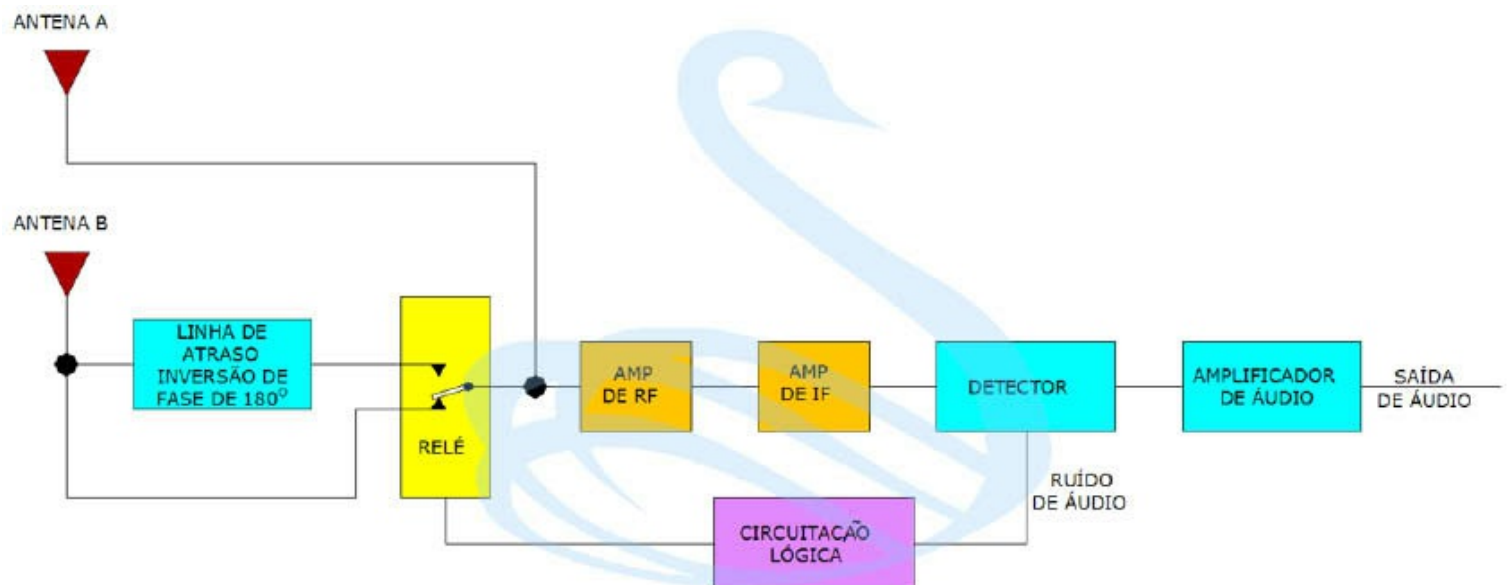


figura 4.60A técnicas de recepção com diversidade para microfones sem fio - diversidade com comutação de antena de fase invertida acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

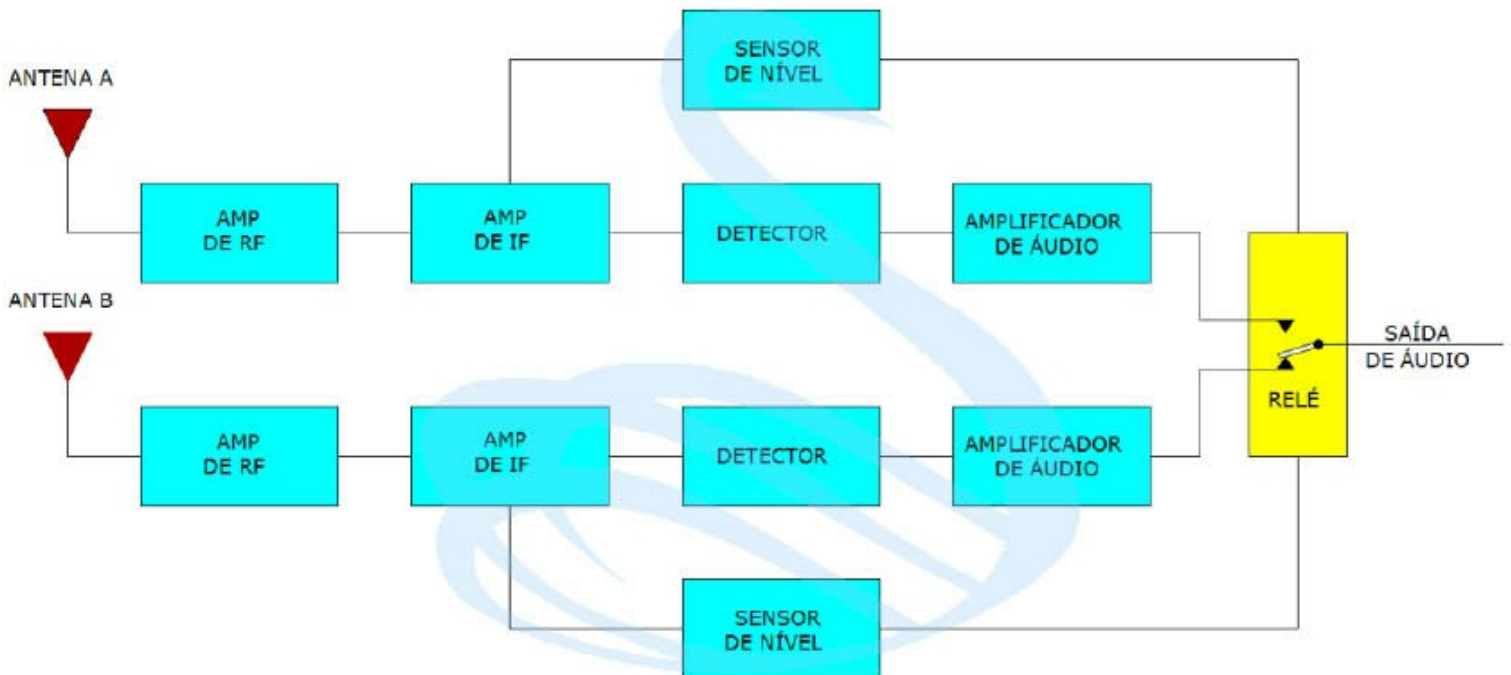


figura 4.60B técnicas de recepção com diversidade para microfones sem fio - diversidade com

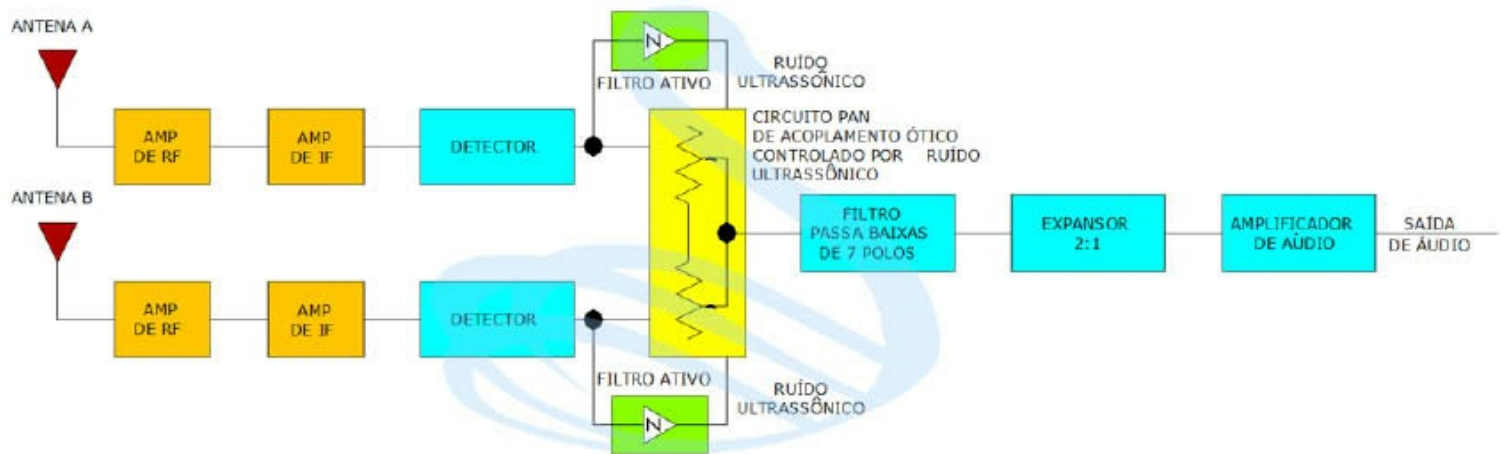


figura 4.60C técnicas de recepção com diversidade para microfones sem fio – diversidade com comutação de rádio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O que significa que deve haver um circuito lógico capaz de decidir se a atuação do seletor irá ou não melhorar a relação sinal/ruído. E também, de decidir qual será o melhor momento para voltar o seletor para sua posição original durante todo o tempo em que ele permanecer atuado.

As principais desvantagens desta técnica são

- a condição do receptor só poderá ser melhorada quando já não for boa
- a comutação de fase pode acarretar problemas marginais de ruído
- uma vez que a comutação é feita ainda com sinais de RF, muitas vezes a atuação do seletor se faz acompanhar por um clique desagradável

A diversidade com comutação de duplo receptor realmente utiliza dois receptores e um circuito comum de áudio. A comutação é feita na saída dos receptores.

A comutação é controlada pela comparação dos níveis dos sinais de RF de entrada, de forma que sempre prevaleça o melhor deles. As desvantagens aqui são duas

- a necessidade de manter permanentemente os dois receptores absolutamente calibrados, ou diferenças de nível serão perceptíveis nos momentos de comutação
- como os sinais são escolhidos por suas intensidades, os sensores podem ser enganados por sinais de níveis elevados, mas de forte conteúdo de ruídos. O que é realmente problemático em locais desfavoráveis, a exemplo daqueles onde estão sintetizadores e equipamentos digitais

A diversidade de rádio também utiliza dois receptores, mas agora simultaneamente. Nesta técnica, reduções de sinais em qualquer dos receptores pode ser antecipada. Um circuito balanceado mede constantemente os níveis de ruídos nos dois receptores, e controla um circuito de panoramização, que mistura os respectivos sinais de saída. Portanto, nesta técnica não há comutação, mas mistura. A proporção da mistura é tal que sempre há uma contribuição maior dada pelo receptor mais silencioso.

Em relação às técnicas anteriores, esta não apresenta quaisquer desvantagens, exceto por seu preço mais elevado. E por isso é a mais utilizada nos produtos topo de linha.

4.2.6.4 Frequências de Operação Ao selecionar qualquer microfone sem fio é preciso escolher um modelo altamente confiável, especialmente quanto à capacidade de superar fortes campos externos, como os produzidos por dimmers, os de radiofrequência, etc.

Essa capacidade está muito relacionada com a frequência portadora do sistema de rádio empregado, que pode estar entre as bandas indicadas na tabela 4.2.

tabela 4.2

VHF (banda baixa)	25 a 50 MHz, e 72 a 76 MHz
VIIF (banda de FM)	88 a 108 MHz
VHF (banda alta)	150 a 216 MHz
UIIF (banda inferior)	450 a 806 MHz
UHF (banda alta)	901 a 952 MHz

Na banda baixa de VHF a imunidade a ruídos é muito prejudicada, e a antena muito longa (da ordem de 1,5 metros). São os sistemas mais baratos e de uso não profissional.

Na banda de FM de VHF as aplicações estão absolutamente restritas a casos onde não há ou há poucas estações de rádio FM transmitindo. Seu uso em capitais e grandes cidades é impossível. Estes sistemas também são baratos e não devem ser usados em aplicações profissionais. A banda alta de VHF é uma das preferidas pelos profissionais. É conveniente observar que essa banda abrange os canais de TV 7 a 13. A preferência por esta banda se deve ao fato dos ruídos serem mínimos, o nível de energia transmitido bastante baixo, e a área de cobertura razoável, com alcance superior a 300 metros com potência de radiofrequência inferior a 50 miliwatts.

A banda inferior de UHF também abrange os canais de TV 14 a 69, transmitidos em UHF. As recomendações de seleção para esta banda são de escolher canais de sistemas de microfones sem fio dentro das frequências destinadas a canais vagos. As antenas utilizadas pelos sistemas sem fio operando nesta banda são realmente pequenas. A banda alta de UHF, de uso geral, atualmente é muito ocupada. Desde portões rádio controlados até linques de rádio de telefonia, passando por transceptores de rádio amador. Atualmente são vários os modelos e marcas que possibilitam ao usuário escolher um entre alguns ou mesmo muitos canais disponíveis nos próprios microfones.

4.2.7 Seleção de Microfones

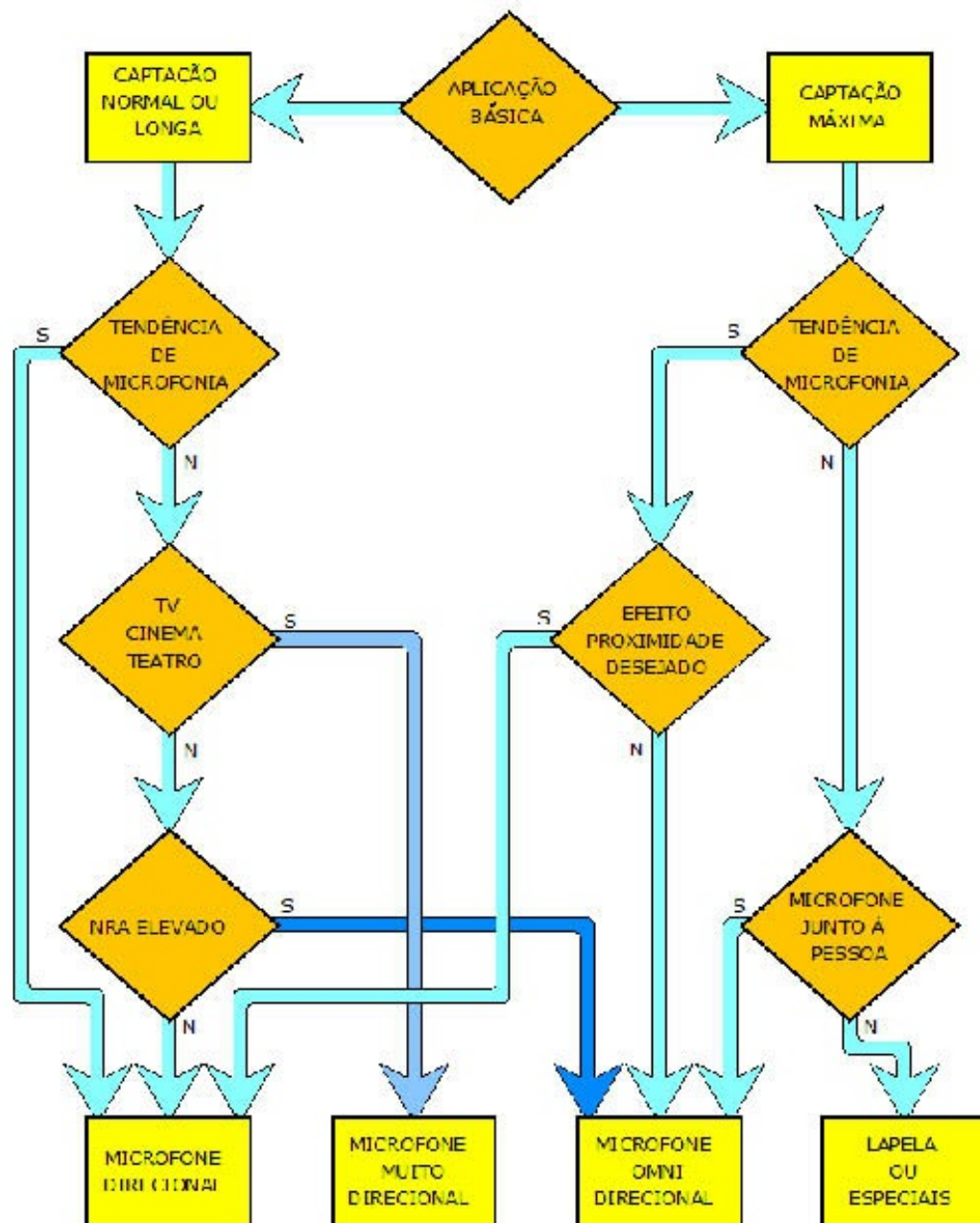


figura 4.61 mapa para seleção de microfones cortesia Shure Brothers Inc.

A figura 4.61 oferece um guia orientativo para a seleção do tipo de microfone mais apropriado para cada aplicação.

4.2.8 Microfones Sem Fio e os Problemas de Espectro A expansão crescente e continuada do mercado dos microfones sem fio apenas reflete a importância desses equipamentos no cenário atual do áudio profissional. As aplicações dos microfones sem fio incluem performances artísticas em teatros e musicais, passando por anúncios feitos em palco, chegando ao uso corporativo em larga escala, sem esquecer dos eventos das mais diversas naturezas, de shows e espetáculos ao vivo, de auditórios e anfiteatros, de salas de aula e atividades de treinamento, de esportes, onde as emissoras constatarem que os programas esportivos mais procurados são aqueles nos quais a captação microfônica praticamente coloca o telespectador dentro da arena ou parque esportivo. Em televisão os microfones sem fio são usados em dramaturgia, em programas de notícias, em programas de auditórios e em mais uma infinidade de aplicações. As igrejas também são fortes consumidoras de microfones sem fio. Assim como os estúdios de

filmagem e de cinema.

Isso pode nos dar uma pálida ideia da função social dos microfones sem fio na sociedade de nossos dias.

Ombreando com os microfones sem fio estão os sistemas intercom, os de monitoração de palco sem fio, in-ear ou não além de muitos outros.

Esse panorama tem sido o grande responsável por esse particular bloco do mercado ter crescido a taxas da ordem de 10% ao ano.

Pesquisei uma enorme quantidade de livros de áudio profissional e de engenharia de áudio a fim de analisar o conteúdo dos capítulos de microfones sem fio. Quase que invariavelmente a abordagem é bastante técnica. Praticamente sem referências aos problemas reais de campo que as integradoras de áudio encontram em seu dia a dia, relacionados com a poluição do espectro de frequências.

Entendi que esta seria uma excelente oportunidade de violar essa regrinha e enveredar um pouco por essas questões do cotidiano dos integradores.

A ideia de transmitir informações elétricas sem usar fios antecede bem a descoberta do rádio com sua transmissão de ondas Hertzianas. Com efeito, foram muitos os experimentos conhecidos com telegrafia sem fio, o que já acontecia a partir de 1830. Em 1873 Maxwell demonstrou cientificamente que as ondas hertzianas podiam realmente se propagar no espaço.

Entretanto, após a descoberta das transmissões com essas ondas transcorreram mais de duas décadas até que o termo “rádio” fosse universalmente associado a essa forma de carrear informações. Em 1894 Marconi iniciou suas pesquisas de sistemas sem fio.

As primeiras transmissões de rádio AM ocorreram em 1920. Notadamente nas cidades de Detroit, Michigan e Pittsburgh, Pennsylvania. A WIXOJ foi a primeira emissora a transmitir FM com a devida aprovação do FCC, o que ocorreu em 1937. Aliás, nessa ocasião a banda reservada para as emissoras de FM ia de 42 MHz a 50 MHz. Logo após a segunda guerra mundial essa banda foi alterada para 87,8 MHz a 108 MHz que, como se sabe, prevalece até hoje.

A mudança teve como pano de fundo evitar eventuais problemas de interferências entre emissoras de cidades próximas e, mais importante, criar “espaço” para mais canais de emissoras de FM. Seria um total de 101 canais com banda de 0,2 MHz cada um.

Nessa ocasião surgiu o primeiro problema de grandes proporções resultante da manipulação de uso do espectro. Porque já haviam mais de 500 mil receptores de FM espalhados pelo mercado e operando na banda antiga. Pequena parte desses passou a funcionar com o auxílio de conversores. O restante, que foi a grande maioria, foi simplesmente descartado ou substituído.

Pouco antes da década de 30 as primeiras emissoras de TV iniciaram suas transmissões em branco e preto. 1947 foi o ano em que a AT&T começou a comercializar seu Serviço de Telefonia Móvel. Facilidade que atendia inicialmente cerca de uma centena de cidades nos Estados Unidos com cobertura ampliada para atender também a algumas estradas principais. Essa iniciativa foi a precursora da telefonia celular tal como a conhecemos hoje. Desenvolvida pelos Laboratórios do Bell System, a telefonia celular analógica chegou ao mercado norte-americano em 1978, ganhando corpo de 1980 ao princípio dos anos 2000.

Em 1954 vieram as primeiras transmissões de TV a cores. Mercado que se consolidou no início dos anos 60. A primeira década do terceiro milênio DC foi o período da consolidação da TV digital no planeta terra. As telecomunicações comerciais, de enorme alcance social em todo o mundo, sempre exigiram muito do espectro de RF. Pode-se dizer que os microfones sem fio, que também se valem de sistemas de rádio para a comunicação, são relativamente novatos nessa competição que parece não ter fim. Vamos definir um dos termos que já usei nesta discussão. Banda é um pequeno segmento do espectro das frequências de radiocomunicações, no qual são utilizados canais com a finalidade de prover a comunicação sem fio. Desde o início, sempre houve muita preocupação com a necessidade de alocar as frequências de maneira eficaz e, ainda, com o objetivo principal de evitar interferências.

Como resultado, há muitas décadas serviços de mesma natureza foram alocados a determinadas bandas. Exemplos de serviços de mesma natureza são transmissões de rádio e de TV, telefonia celular, sistemas de navegação, *etc.* Cada uma das bandas que atende aos serviços de mesma natureza é governada por planos e regras, que estabelecem como ela deve ser explorada de modo a evitar possíveis interferências e, ainda, assegurar a compatibilidade entre transmissores e receptores.

tabela 4.3

Por convenção, o espectro de RF (radiofrequências) é dividido em bandas, cujos usos são os indicados na tabela 4.3.

Muito bem.

Onde está a banda para os microfones sem fio?

O fato é que os microfones sem fio não possuem bandas exclusivas. Enfim, eles podem operar em várias bandas diferentes do espectro de RF.

Microfones sem fio podem funcionar com ou sem licença das autoridades em cada país, condição essa que depende apenas da banda ocupada. A maioria dos microfones sem fio opera nas bandas de TV.

Nas bandas de VHF os microfones sem fio podem ser licenciados para operar na parte baixa, de 169 a 172 MHz, e na parte alta, de 174 a 216 MHz, reservada para os canais de TV

de 7 a 13.

Nas bandas de UHF, os microfones sem fio podem ser licenciados para operar nas bandas de TV de 470 MHz a 608 MHz e depois de 614 MHz a 698 MHz. Além dessas, também podem ser licenciados microfones sem fio nas bandas STL (Studio to Transmitter Links) e ICR (Ipswitch Community Radio), isto é, de 944 MHz a 952 MHz.

A banda do canal 37 não pode ser usada, uma vez que ela é reservada para uso de comunicação em rádio astronomia.

Operar com licença das autoridades significa ter que observar determinadas regras elaboradas para as chamadas LPAS (Low Power Auxiliary Stations).

As licenças são concedidas para uso de canais não ocupados pelas emissoras de TV. Em 2014 o FCC norte-americano criou duas novas categorias para licenciar microfones sem fio.

Elas são a “Large Venue Owner or Operator” e a “Professional Sound Company”, ambas dispensando comentários adicionais.

Exceto que para solicitar licença nessas categorias a entidade solicitante precisa assegurar que usará 50 ou mais LPAS.

Alguns microfones sem fio são projetados para trabalhar num grupo discreto de frequências, porquanto outros tem capacidade de cobrir todo um segmento de frequências por toda uma banda.

Dependendo da banda utilizada se aplicam diferentes regras técnicas e critérios aos microfones sem fio.

A tabela 4.4 diante mostra os canais de VHF e de UHF, bem como as respectivas bandas no espectro de RF.

É certo que a maioria dos microfones sem fio em operação é não licenciada. Entretanto, tal uso das bandas de TV implica num certo preço. Ele inclui a limitação da potência transmitida em comparação com os sistemas legalmente licenciados, o compromisso do sistema não interferir com outros sistemas, porquanto os usuários devem aceitar previamente possíveis interferências produzidas por outros usuários operando na mesma banda.

Com relação à tabela 4.4 listando os canais VHF e UHF, devo dizer que em muitos lugares do mundo houveram algumas alterações de uso, entre as quais: • os canais de UHF de 70 a 83 foram realocados para uso de Sistemas de Rádio Móvel Terrestre (Saúde Pública) • os canais 14 a 20 foram realocados para uso de Rádio Móvel Terrestre • o canal 37 foi reservado para comunicação astronômica, portanto sem estações de TV

Em 2010 o FCC norte-americano reprogramou o uso da faixa de 698 MHz a 806 MHz, dedicada aos canais 52 a 69. Também chamada de banda de 700 MHz. Porque os espaços brancos, assim chamados os canais de TV fora de uso, se tornaram mais e mais disponíveis a

partir de 2008, em função da chegada da TV digital. Então, os espaços brancos foram levados a leilões públicos.

tabela 4.4

CANAIS VHF			
canais	banda	canais	banda
2	54-60	8	180-186
3	60-66	9	186-192
4	66-72	10	192-198
5	76-82	11	198-204
6	82-88	12	204-210
7	174-180	13	210-216
UHF - FINAL DA BANDA DE 400 MHZ			
canais	banda	canais	banda
14	470-476	17	488-497
15	476-482	18	494-500
16	482-488		
UHF - BANDA DE 500 MHZ			
canais	banda	canais	banda
19	506-506	27	548-554
20	506-512	28	554-560
21	512-518	29	560-566
22	518-524	30	566-572
23	524-530	31	572-578
24	530-536	32	578-584
25	536-542	33	584-590
26	542-548	34	590-596
UHF - BANDA DE 600 MHZ			
canais	banda	canais	banda
35	596-602	44	650-656
36	602-608	45	656-662
37	608-614	46	662-668
38	614-620	47	668-674
39	620-626	48	674-680
40	626-632	49	680-686
41	632-638	50	686-692
42	638-644	51	692-698
43	644-650		
UHF - BANDA DE 700 MHZ			
canais	banda	canais	banda
52	698-704	61	752-758
53	704-710	62	758-764
54	710-716	63	764-770
55	716-722	64	770-776
56	722-728	65	776-782
57	728-734	66	782-788
58	734-740	67	788-794
59	740-746	68	794-800
60	746-752		
UHF - BANDA DE 800 MHZ			
canais	banda	canais	banda
69	800-806	77	848-854
70	806-812	78	854-860
71	812-818	79	860-866
72	818-824	80	866-872
73	824-830	81	872-878
74	830-836	82	878-884
75	836-842	83	884-890
76	842-848		

Entre os usuários pretendentes estavam gigantes do consumo eletrônico como a Verizon e a Google, que julgaram ter aí uma excelente oportunidade para ganhar acomodação extra para seus dispositivos sem fio. Além desses também se fizeram presentes emissoras independentes de TV, produtoras teatrais, grupos de musicais como os da Broadway e conhecidos produtores de grandes eventos, entre muitos outros.

As grandes igrejas e muitas outras organizações de médio e de grande porte se sentiram bastante prejudicadas com essa reprogramação, já que reinavam tranquilas ocupando essas bandas com bons resultados operacionais e qualidade de áudio. Mas, sendo expulsas de sua zona de conforto, foram alijadas do uso das bandas com as quais estavam tão habituadas. Tendo que enfrentar todas as consequências que isso implica.

O FCC vai, novamente, alterar uma outra banda, agora a de 600 MHz. Ocorrência essa prevista para 2015. Por sinal, a banda que muitos microfones profissionais sem fio operam hoje, a maioria que migrou da banda de 700 MHz como resultado da alteração anterior imposta pelo mesmo FCC em 2010. O descontentamento é grande porque essa banda não poderá mais vir ser utilizada pelos microfones sem fio. O que significa ter que reinvestir. Algo como cerca de US\$ 50 mil dólares para cada grupo de 16 canais. Grandes organizações com mais microfones devem se preparar para investimentos colossais.

As grandes locadoras costumam ter em seus estoques centenas de microfones sem fio. Além deles, sistemas de intercomunicação sem fio, (IEM) in-ear monitor sem fio e um grande sortimento de dispositivos sem fio que terão que ser simplesmente descartados ou substituídos.

Os fabricantes de microfones sem fio já começam a voltar seus esforços para produtos otimizados para a banda de 500 MHz. Infelizmente, do ponto de vista técnico, quanto mais baixa é a banda de frequências mais difíceis são as condições de comunicação e maiores os desafios a enfrentar. As equipes técnicas da Lectrosonics lembram que essa nova mudança vai obrigar a desenvolver filtros muito mais precisos e caros.

Todos sabemos que frequências mais baixas exigem antenas maiores. Por exemplo, sistemas desenvolvidos para trabalhar nas bandas de 600 MHz a 750 MHz são equipados com antenas de 89 milímetros. Já na banda de 500 MHz as antenas precisam ter não menos que 140 milímetros, podendo chegar a 160 milímetros em 450 MHz.

Empresas como a Sennheiser e a Audio Technica estão recorrendo ao FCC para que o organismo crie uma forma de compensação financeira para os usuários, a ser paga pelos novos ocupantes das mesmas faixas, que terão que ser coercitivamente abandonadas pelos ocupantes de antes dessa mais recente reprogramação.

Entretanto, essa ainda é uma questão em aberto. Mas considero-a um excelente símbolo de muita visibilidade capaz de nos dar uma ideia sólida da extensão dos problemas causados pela

seguida reprogramação das bandas de RF e com que intensidade isso afeta a todo o mercado.

Alternativas?

Para microfones não licenciados é possível utilizar a banda de 49 MHz, a banda ALS (Assistive Listening Systems) de 72 MHz, a banda de 901 MHz a 928 MHz, a banda DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) de 1,92 GHz a 1,93 GHz e a banda de 2,4 GHz.

Muitos microfones sem fio foram desenvolvidos para operar sem licença na banda de 901 MHz a 928 MHz, e também na banda de 1,92 GHz a 1,93 GHz assim como na banda de 2,4 GHz.

Entretanto, há sempre uma contrapartida pesada para o usuário. Por exemplo, a banda de 2,4 GHz é consideravelmente ruidosa e, principalmente, abarrotada de dispositivos sem fio como telefones sem fio, sistemas wi-fi, bluetooth, brinquedos hi-tech e por aí vai. Outro inconveniente da banda 2,4 GHz é que as frequências mais elevadas exigem mais potência para manter o mesmo alcance físico.

Por exemplo, operando em 500 MHz, um transmissor com 10 miliwatts tem alcance aproximado de 1 km. Alterando a operação para 2,4 GHz o mesmo alcance só pode ser mantido se a potência aumentar para 1 watt. Ou seja, um incremento de 10 dB!!

Portanto, pelo fato de não precisar de licença, todos esses microfones ficam sujeitos aos percalços mencionados.

Também há algumas sugestões para que os microfones sem fio possam ocupar a banda de 1,8 GHz.

O resultado prático de toda essa situação é que fabricantes e consumidores se sentem desorientados em relação ao futuro da tecnologia sem fio. É reconfortante saber que o FCC está analisando as necessidades dos usuários de microfones sem fio a longo prazo. Claro, com o objetivo principal de evitar essas reorganizações seguidas de bandas que tantos prejuízos e dor de cabeça provocam. Por isso, o FCC está pesquisando o uso de novas bandas e examinando detalhadamente o espectro à procura de soluções aceitáveis e duradouras.

A proposta escrita e publicada pelo FCC, que é pública e todos têm acesso a ela, informa que também são avaliadas alternativas de uso sem licença de microfones sem fio, sem descarte das licenças como forma de assegurar um mínimo de interferências.

Todas essas marchas e contramarchas são o resultado óbvio de uma situação de competição cada dia mais acirrada pelo mesmo espectro de frequências disponível, que continua sendo o mesmo de há décadas. É como se fosse um bem natural como água doce ou madeira, que também pode ser poluído ou extinto pelo consumo excessivo.

Como os microfones sem fio ocupam frequências de canais de TV que, numa determinada

cidade não o ocupam, do ponto de vista geográfico a situação é como um caleidoscópio. O que pode funcionar numa cidade pode ser um problemão na cidade vizinha. Com consequências certas para todas as empresas que usam os mesmos sistemas sem fio em diferentes regiões do país, a exemplo das locadoras e das empresas de eventos.

No que tange aos microfones sem fio, as consequências dessa corrida desenfreada tem sido o enfrentamento de um espectro mais poluído a cada semana que passa.

Preocupados com a subsistência de seu mercado, os fabricantes reagiram em resposta a todos esses graves problemas. Nessa batalha eles contam com algumas armas que sempre lhes foram revigorantes. Entre as quais estão a tecnologia e as pesquisas de médio e longo prazo. Graças a isso alguns desses muitos inconvenientes têm sido compensados. Ao menos de certa forma.

Com efeito, microfones sem fio de última geração são portadores de filtros front-end mais estreitos e precisos, contam com antenas mais eficazes, com especificações aperfeiçoadas de sensibilidade e de seletividade, com ações mais efetivas de squelch, com sistemas de diversidade mais acurados, tudo concorrendo para possibilitar a operação de mais canais numa dada banda de frequências. A ponto de uma situação típica de presença de muitas frequências perdidas no ar afetar cada vez menos sistemas de microfones sem fio.

Os fabricantes também introduziram outros recursos, a exemplo da formação de redes via Ethernet, da detecção de problemas em tempo real combinada com a comunicação entre transmissores e receptores para alterações de configuração e superação desses mesmos problemas, do controle remoto muito eficiente de equipamento sem fio e assim por diante. A ideia central é permitir a monitoração constante e permanente da comunicação sem fio em curso para análise das alocações de frequência a cada momento. E correções de problemas em tempo real sempre que viável.

Muitos sistemas de microfones sem fio modernos são capazes de efetuar tal monitoração visando alterar as frequências de transmissores e receptores para evitar problemas de interferência, comutações essas que acontecem sem que os usuários percebam que algo foi alterado. Naturalmente, esses são processos dinâmicos que rolam em tempo real e são mais ou menos acionados em função da natureza e gravidade dos problemas encontrados.

Alguns microfones operam simultaneamente com duas ou mais frequências, sendo o resultado final uma combinação dessa atuação dual. O resultado é a redução de ruídos e de interferências.

Há poucos anos surgiram os sistemas ágeis, que podiam cobrir algo como 4 canais de TV, cerca de 24 MHz. Atualmente, há casos como o sistema Axient da Shure, que cobre o espectro de 470 MHz a 698 MHz. Ou seja, a bagatela de 228 MHz. O sistema DMS700 da AKG vai na

mesma direção, trabalhando com espectro de 155 MHz. Já os sistemas 4000 e 5000 da Audio Technica podem operar com 200 canais de rádio diferentes entre si. Outro exemplo vem da Sennheiser, com o sistema EM 3732, ágil numa banda de 90 MHz e otimizado para eliminar problemas de intermodulação. Recentemente a Beyerdynamic lançou seu sistema TG1000 cobrindo a banda de 470 MHz a 790 MHz, isto é, banda de 320 MHz.

Esses recursos aumentam consideravelmente a capacidade de sintonia desses modernos microfones sem fio, aumentando-lhes incrivelmente o potencial de uso sem interferências, mesmo em condições de prevalência de espectro carregado e de uso simultâneo de muitos microfones sem fio no mesmo local. Entretanto, isso exige alguns cuidados. Por exemplo, agrupar os canais em séries que são mutuamente compatíveis entre si. Esses grupos também devem ser otimizados para o cenário presente de frequências de rádio no local, tanto as de microfones sem fio quanto de outros dispositivos sem fio e, principalmente, de emissoras de TV.

Vimos antes que os microfones sem fio usam as mesmas frequências que os canais de TV. Conflitos diretos dessas frequências tem a propriedade de reduzir muito o alcance dos microfones sem fio e de produzir dropouts seguidos. Embora os receptores dos microfones sem fio não tenham como traduzir os sinais transmitidos pelas emissoras de TV locais, tais sinais se comportam como fontes de ruído de banda larga. Aumentando sem controle os ruídos e distorções na saída de áudio dos receptores dos microfones sem fio. Evidentemente a forma de evitar esse conflito é não operar o microfone sem fio nessa frequência, que não pode ser compartilhada.

Porque? Porque as emissoras de TV possuem transmissores que operam com milhões de watts, porquanto os microfones sem fio operam com 50 miliwatts, ou menos.

Falar em emissoras locais é pensar num transmissor que está num raio de 100 quilômetros do local onde fica o microfone sem fio. Evidentemente essa distância não pode ser entendida de maneira absoluta, já que depende da topografia da região, das particulares características de cobertura dos transmissores de TV e da potência transmitida. Os sistemas de microfones sem fio externos, como os usados em arenas esportivas, ficam mais sujeitos a interferências do que os utilizados em ambientes fechados, uma vez que as estruturas prediais ajudam muito a atenuar os sinais de TV.

Contudo, esse problema não é assim tão grave pois os locais das emissoras de TV bem como suas frequências de transmissão e potência são parâmetros bem conhecidas por quem opera sistemas sem fio.

Algumas linhas acima usei o termo intermodulação. Bem, esse é um fenômeno que pode ocorrer quando dois ou mais microfones sem fio são usados num mesmo local. Vejamos um

pouco mais sobre isso.

O fenômeno tende a ser mais grave quando há pelo menos dois transmissores que ficam muito próximos da antena receptora. O que gera sinais de muita intensidade nos receptores. Então, os dois sinais recebidos geram produtos de intermodulação. Que são novas frequências, capazes de interferir com as frequências originais. Ou seja, algumas dessas novas frequências geradas pelos mecanismos que produzem a intermodulação acabam sendo aceitas pelos filtros de entrada dos receptores.

Como o próprio nome sugere, intermodulação é o fenômeno produzido por partes não lineares de um sistema, que geram novas frequências produto de somas e diferenças não relacionadas harmonicamente com as fundamentais.

Vejamos isso com um exemplo. Creio que isso pode deixar as coisas bem claras mesmo para aqueles sem qualquer formação técnica.

Imagine um sistema de microfones sem fio usando apenas duas frequências, sendo elas 500 MHz (F1) e 501 MHz (F2). Portanto, um espaçamento de 1 MHz.

As harmônicas dessas frequências são: $2 \times F1 = 1000 \text{ MHz}$

$$3 \times F1 = 1500 \text{ MHz}$$

$$2 \times F2 = 1002 \text{ MHz}$$

$$3 \times F2 = 1503 \text{ MHz}$$

As somas e diferenças das frequências harmônicas são: $F1 + F2 = 1001 \text{ MHz}$

$$F2 - F1 = 1 \text{ MHz}$$

As componentes de intermodulação que podem surgir: $F3A = 2 \times F1 - F2 = 499 \text{ MHz}$ $F3B = 2 \times F2 - F1 = 502 \text{ MHz}$ $F5A = 3 \times F1 - 2 \times F2 = 498 \text{ MHz}$ $F5BA = 3 \times F2 - 2 \times F1 = 503 \text{ MHz}$ $F7A = 4 \times F1 - 3 \times F2 = 497 \text{ MHz}$ $F7B = 4 \times F2 - 3 \times F1 = 504 \text{ MHz}$ A figura 4.62 mostra como as frequências principais e os componentes de intermodulação se situam se dispostas graficamente. A intermodulação dos receptores ocorre quando os transmissores ficam muito próximos das antenas receptoras, digamos menos do que 4,0 metros. Já a intermodulação dos transmissores acontece quando dois transmissores, ou mais, ficam muito próximos um do outro. Digamos, menos do que 0,5 metro.

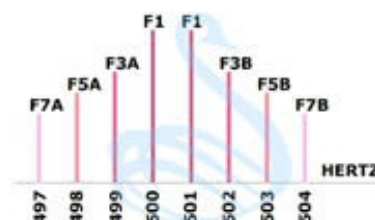


figura 4.62 frequências de intermodulação dispostas graficamente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As intensidades dos componentes de intermodulação são inversamente proporcionais a essas distâncias.

Bem, aí está a origem do problema. Mas não se iluda. A gravidade do problema aumenta muito com a quantidade de canais usados simultaneamente nos sistemas multicanais. Porque a

quantidade de componentes de intermodulação cresce numa proporção exponencial em relação à quantidade de microfones operando simultaneamente. Esse simples fato exige uma banda operacional também não seja proporcional à quantidade de canais em uso, mas que também guarde relação exponencial com ela.

Ou seja, é preciso ter mais “espaço” para fugir dos problemas e encontrar frequências mais “amistosas”.

Por sinal, a única maneira de assegurar potencial de proteção contra esse fenômeno físico e, até este momento, ainda inexorável.

Como lidar com isso? A melhor maneira é escolher as frequências que, ou simplesmente não produzem problemas ou, alternativamente, que produzam os menores estragos possíveis. Essa escolha é o que se chama gerência de espectro.

Ou coordenação de frequências.

Infelizmente estou me referindo a um processo bastante complexo que, ipso facto, dificilmente pode ser feito à mão. Razão pela qual alguns fabricantes disponibilizam software de coordenação de frequências para essa precípua finalidade.

Exemplos são o AXT600 da Shure, que é um misto de hardware e software, muito eficiente na prática, o SIFM (Sennheiser Intermodulation and Frequency Management) da Sennheiser, ou o independente WR-G33WSM da WinRadio, que também atende a casos de telemetria. Veja uma de suas telas na figura 4.63.

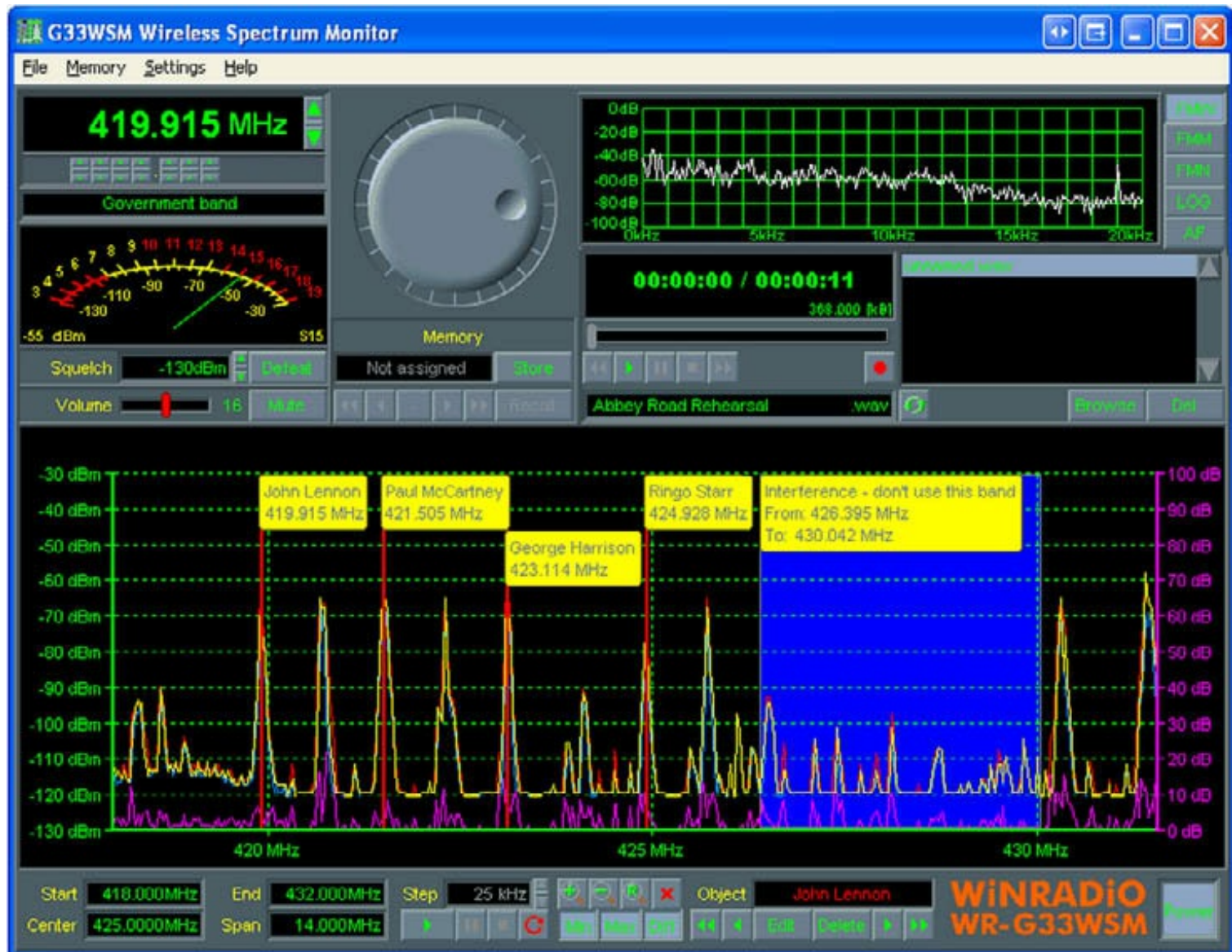


figura 4.63 tela do software WR-G33WSW de ajuda na coordenação de frequências cortesia WinRadio

Como acompanho muitas instalações no dia a dia, tenho observado que a grande maioria dos técnicos e instaladores de som profissional tem pouca familiarização com a coordenação de frequências. O que é uma pena porque esse é o melhor caminho para prevenir problemas. Quase que sempre de uso muito simples. Se pensarmos um pouquinho podemos concluir que as coisas dificilmente tendem a melhorar, já que se espera um aumento do uso de microfones sem fio, além de outros dispositivos sem fio, bem como a expansão nos canais de TV. Ora, amigos, não é possível fazer mágicas neste ramo, mas apenas e tão somente gerenciar os recursos finitos disponíveis.

4.3 MIXERS

4.3.1 Visão Geral

Mixer, ou mesa de mixagem, ou mesa de som, ou mesa, ou console de mixagem, ou console de som, ou console, ou misturador, ou seja lá que nome queiramos mais dar, é exatamente onde o fator humano começa a fazer diferença em qualquer sistema de som.

Tanto um simples mixer de dois canais que custe o equivalente a um jantar, instalado num

salão de escola da periferia, quanto um sofisticadíssimo mixer de estúdio equipado com cento e dezesseis canais de entrada, que custe um milhão de dólares, ambos funcionam de acordo com os mesmos princípios.

Se quisermos ter uma visão geral dos mixers podemos começar considerando que qualquer mixer é projetado para desempenhar as mesmas funções básicas e elementares, que podem ser alinhadas como segue:

- amplificar os sinais de entrada provenientes dos microfones e das outras fontes
- controlar os níveis dos sinais de entrada independentemente uns dos outros
- misturar os sinais de entrada em quaisquer combinações
- encaminhar os sinais já combinados para um ou mais destinos desejados, através das saídas do mixer

A 4.64 representa um mixer elementar, monofônico, de 8 canais.

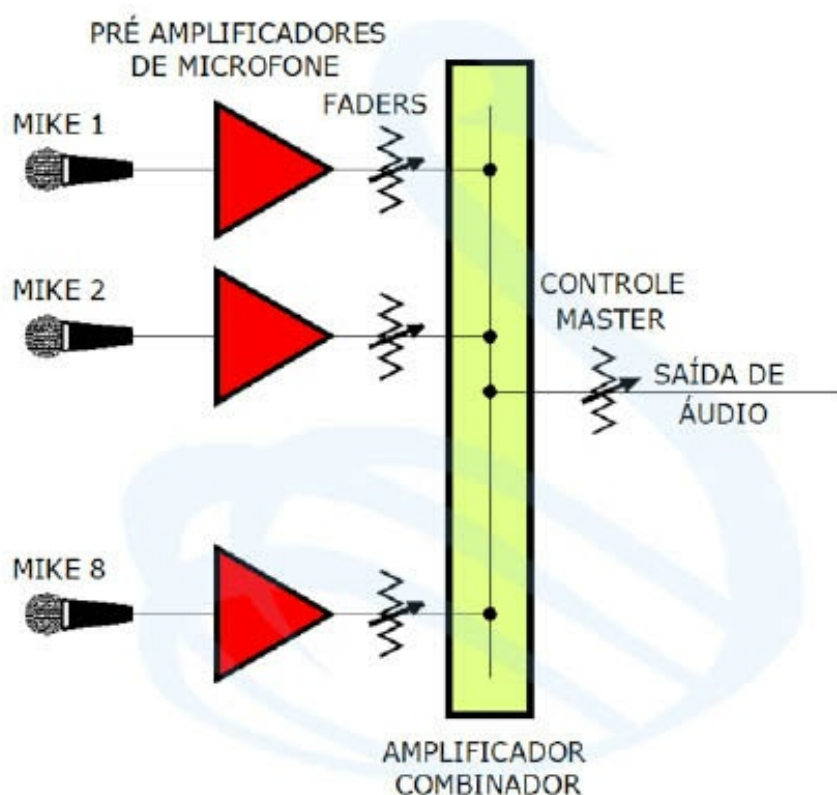


figura 4.64 mixer elementar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os microfones e/ou fontes de programa são ligados nas entradas dos canais. No caso do mixer da figura são 8 microfones ligados nos 8 canais de entrada.

Cada um dos sinais provenientes dos microfones passa por um pré-amplificador, cuja incumbência é elevar o nível dos sinais.

Na figura, os pré amplificadores são representados pelos triângulos vermelhos.

Em todo mixer há sempre um pré-amplificador de microfone para cada canal de entrada de microfone.

Além dos canais dedicados aos microfones, em quase todos os mixers há também canais dedicados exclusivamente a fontes com saída de nível de linha.

Logo, os correspondentes pré amplificadores têm ganho menor do que os pré amplificadores para microfones.

Sinais provenientes de microfones ou de fontes de programas acabam sendo pré amplificados. Na sequência os sinais são encaminhados para um potenciômetro específico desse mesmo canal, denominado **pot** ou **fader**.

Sua função é controlar os níveis dos sinais em sua passagem para o circuito de mixagem, onde eles são combinados no amplificador combinador.

Veja isso na figura 4.64.

Como os faders dos canais são independentes uns dos outros, eles são usados para combinar os diversos sinais provenientes dos canais, controlando individualmente os níveis de cada um deles em relação aos demais.

Com o que podemos obter qualquer proporção de qualquer canal no resultado final da combinação.

Os sinais são realmente combinados por um **amplificador combinador**, também chamado rede somadora, combinador ativo e tantos outros nomes.

Finalmente, o nível do sinal na saída do amplificador combinador é ajustado por um outro potenciômetro, denominado **controle master**.

Quando o mixer é estereofônico, o arranjo passa a ser como mostra a figura 4.65, num esquemático bem simplificado.

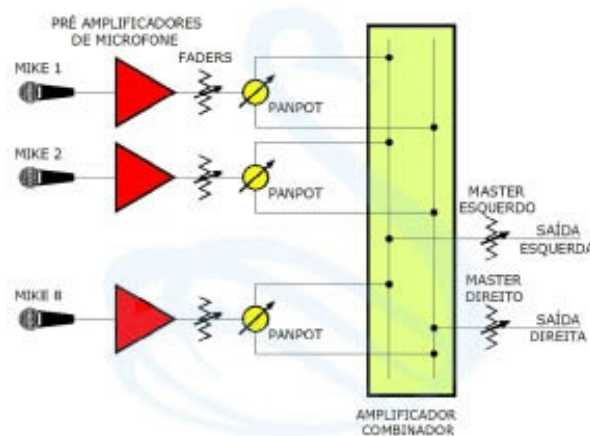


figura 4.65 mixer estereofônico elementar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Percebe-se que, além das duplicações, cada canal recebe a adição de um segundo potenciômetro, chamado **pan pot**. Abreviação para “panoramic potentiometer”. Sua função é dividir os sinais de cada canal de entrada em duas partes. Uma delas endereçada para o canal direito e a outra endereçada para o canal esquerdo.

O pan pot é tal que em sua posição central as duas partes endereçadas têm mesma intensidade. Girando-se o potenciômetro para a esquerda, aumentamos a intensidade do sinal endereçado para o canal esquerdo, e simultaneamente, diminuimos a intensidade do sinal endereçado para o canal direito. Girando-se o pan pot para a direita ocorre o inverso.

Nos mixers estereofônicos os amplificadores combinadores são dois, bem como os controles master. Por isso, um é chamado master esquerdo (left master) e outro master direito (right master).

Mixers Analógicos

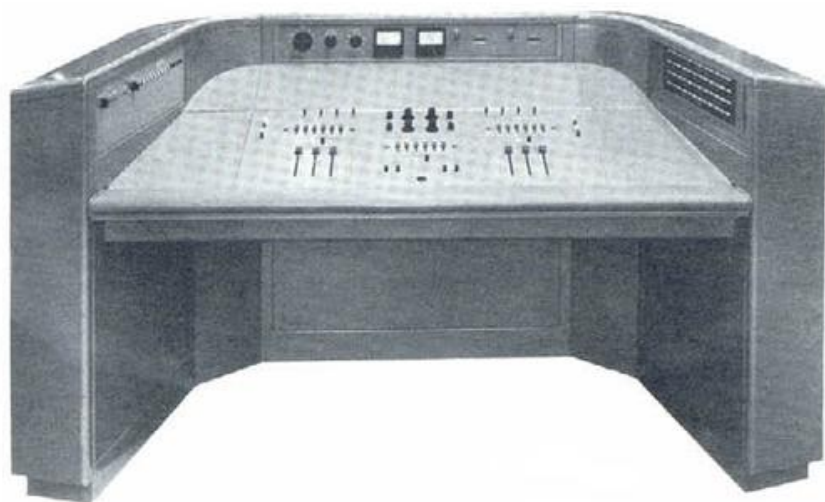


figura 4.66
cortesia Cysne Science Publishing Co.



figura 4.67
cortesia Cysne Science Publishing Co.

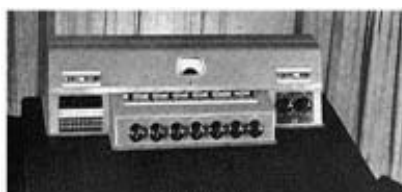


figura 4.68
cortesia Cysne Science Publishing Co.



figura 4.69
cortesia Cysne Science Publishing Co.

A figura 4.66 mostra mixer valvulado fabricado na década de 30 pela RCA para um famoso estúdio de rádio. A figura 4.67 exhibe uma cena cotidiana no estúdio Radio City da NBC, numa foto de 1938.

Em 1942 a Western Electric lançaria o precursor de todos os mixers atuais.

Trata-se do legendário modelo 25A, que aparece na figura 4.68.

Esse mixer foi um sucesso estrepitoso por praticamente uma década inteira.

Em 1950 a Altec lançaria o sucessor do 25A, o modelo 250A, exibido na figura 4.69. O modelo 250A foi uma reformulação do modelo 25A e, como sugere a imagem, manteve praticamente todos os seus fundamentos, inclusive as características visuais e concepções elétricas. Afinal, o show tinha que continuar.

No início da década de 50 a Presto lançaria alguns mixers, como o portátil PT900, de 5 canais e a versão para estúdio, o modelo 90B.

Um dos fatos que mudaria para sempre a história dos estúdios de gravação foi a presença muito marcante do incrível Les Paul, sempre muito estimulado por sua mulher Iris Colleen Summers, que adotou o nome artístico Mary Ford. Além de ser excelente guitarrista, compositor e arranjador, Les Paul também era um inventor de mão cheia. Para nossa sorte, ele colocou todo o seu talento à disposição da humanidade e, mais especialmente, à favor da comunidade científica do áudio.

Partindo de uma sólida base deixada pelos engenheiros que gravaram e mixaram a trilha sonora de Fantasia, o filme de Disney exibido em 1939 com 9 canais de áudio, Les Paul aperfeiçoou muito várias ideias que orbitavam nos estúdios, como “sound-on-sound”,

“overdubbing”, praticamente todos os efeitos reverb que conhecemos hoje, e criando o efeito “chorus”, depois redescoberto e utilizado com excelente bom gosto na década de 60 pelos Carpenters, além de tantos outros efeitos e técnicas.

Les Paul e Ford venderam mais de 6 milhões de discos em 1951, incluindo mais de 15 sucessos “top 10”.



figura 4.70 mixer circa 1967

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Les Paul também contribuiu decisivamente para o sucesso desfrutado atualmente pela técnica multipistas e outras técnicas utilizadas nos estúdios modernos.

Em meados dos anos 60 as válvulas dos mixers foram rapidamente substituídas pelos transistores. Os novos modelos de “estado sólido” ficariam com cara mais ou menos parecida com a da figura 4.70.

De lá para cá as formas foram mudando e as aplicações foram se multiplicando velozmente. Até que a revolução digital foi engolfando os mixers pouco a pouco, mas de forma inexorável. A ponto de podermos afirmar que a maioria dos mixers disponíveis hoje no mercado já é digital.

Bem, mas se os mixers nasceram analógicos é natural que nossa discussão comece mesmo com os mixers analógicos.

Para representar um mixer qualquer com um certo grau de detalhes nos valem de um diagrama de blocos um pouco mais completo que o da figura 4.65. Como nos mostra a figura 4.71.

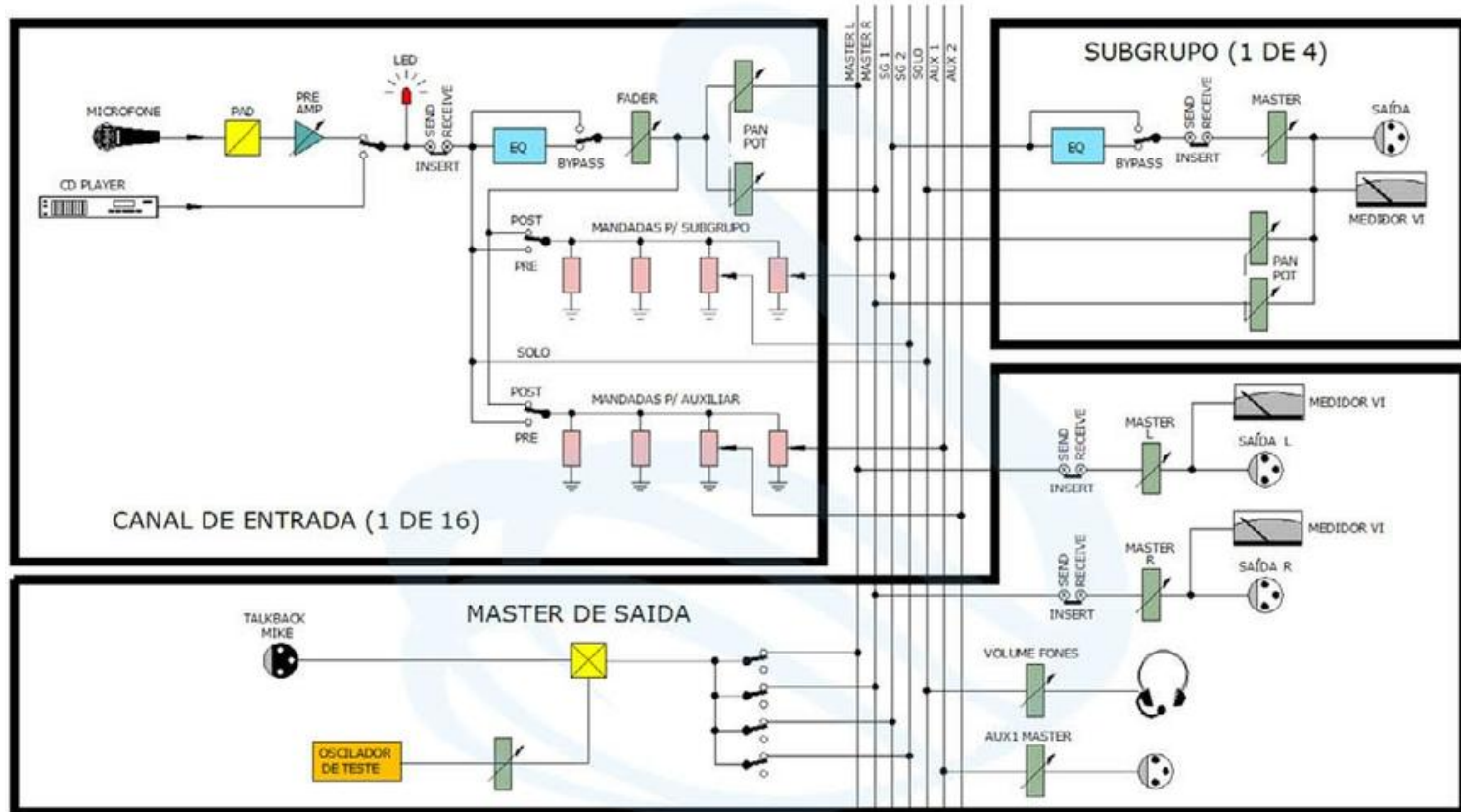


figura 4.71 mixer de 16 canais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne. Aí está esquematizado um típico mixer analógico de 16 canais. Antes de prosseguir é preciso esclarecer bem um aspecto. Cada mixer fabricado é diferente de todos os demais em maior ou menor grau. Além disso, há mixers especificamente fabricados para aplicações diferentes, entre as quais estão o broadcasting, a gravação, o PA, o teatro, a monitoração de palco e tantas outras. De modo geral podemos dizer que com poucas exceções os recursos descritos a seguir são comuns a praticamente todos os tipos de mixers.

A figura mostra um mixer dividido em três seções.

A seção de entrada possui um único bloco, que é o dos canais. As duas outras seções são ambas de saída. A superior é a dos subgrupos e a inferior a saída master.

Para não poluir o desenho a figura representa apenas um módulo de cada tipo. Ou seja, um canal de 24 (ou de 36, ou de 48, etc.). O mesmo se aplica aos subgrupos e aos masters.

Os canais são considerados módulos de entrada. Os subgrupos e master são módulos de saída.

4.3.2.1 Módulos de Entrada Como os módulos de entrada de praticamente todos os mixers, o exemplo da figura 4.71 também aceita sinais de microfone e de linha.

Podemos dizer que as entradas dos mixers devem estar preparados para tudo o que possa entrar num mixer. Ou seja, microfones, direct boxes, dispositivos com saída de linha, aí incluídos os instrumentos musicais como teclados, máquinas de bateria, guitarras elétricas, etc.

A entrada de microfone é sempre exclusiva para microfones e para direct boxes. Portanto, não se pode nem se deve ligar nenhum outro aparelho nessas entradas.

Já as entradas de linha são apropriadas para a ligação de instrumentos como teclados, samplers, drum machines, sinais provenientes de gravadores multipistas ou quaisquer outros

meios de gravação, inclusive os pequenos reprodutores de mp3. Mas nenhuma entrada de linha deve ser utilizada para pré amplificar sinais provenientes de microfones.

Em alguns mixers cada canal dispõe de dois conectores de entrada. Um para microfone e outro para linha, usualmente um PAM de 6,4mm. Como na figura 4.72.



figura 4.72 conectores de entrada típico de muitos mixers acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne. Nesses casos, três hipóteses podem acontecer. A primeira é o fabricante prever uma chave seletora para que o usuário escolha a entrada ativa: microfone ou linha. Como ilustra a figura 4.73.



figura 4.73 seletor de entrada (INPUT 1), e à sua esquerda um LED verde para sinalizar que o microfone está selecionado e o LED amarelo para sinalizar que a linha é que está selecionada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne. A segunda hipótese é não haver seletor de entrada. Então, quando o microfone estiver conectado e a fonte com saída de linha não, a entrada ativa é o microfone. Porém, quando a entrada de linha for conectada, ela prevalecerá sobre o microfone, que será automaticamente desligado.

A terceira hipótese é o mixer se valer de um conector dual, denominado combo. Como o da figura 4.74. Esse conector permite a ligação de um microfone via conector XLR de 3 pinos ou a conexão de uma fonte com nível de linha através de um conector PAM (TRS) de 6,4mm ou PM de 6,4mm (TS). Como não é possível conectar microfone e linha simultaneamente, o que estiver conectado será a fonte ativa.



figura 4.74 conector Neutrik, combo series, modelo NCJ5FI-H cortesia Neutrik

Os conectores combo são fabricados com algumas variações de circuitação e de contatos auxiliares, como ilustra a figura 4.75.

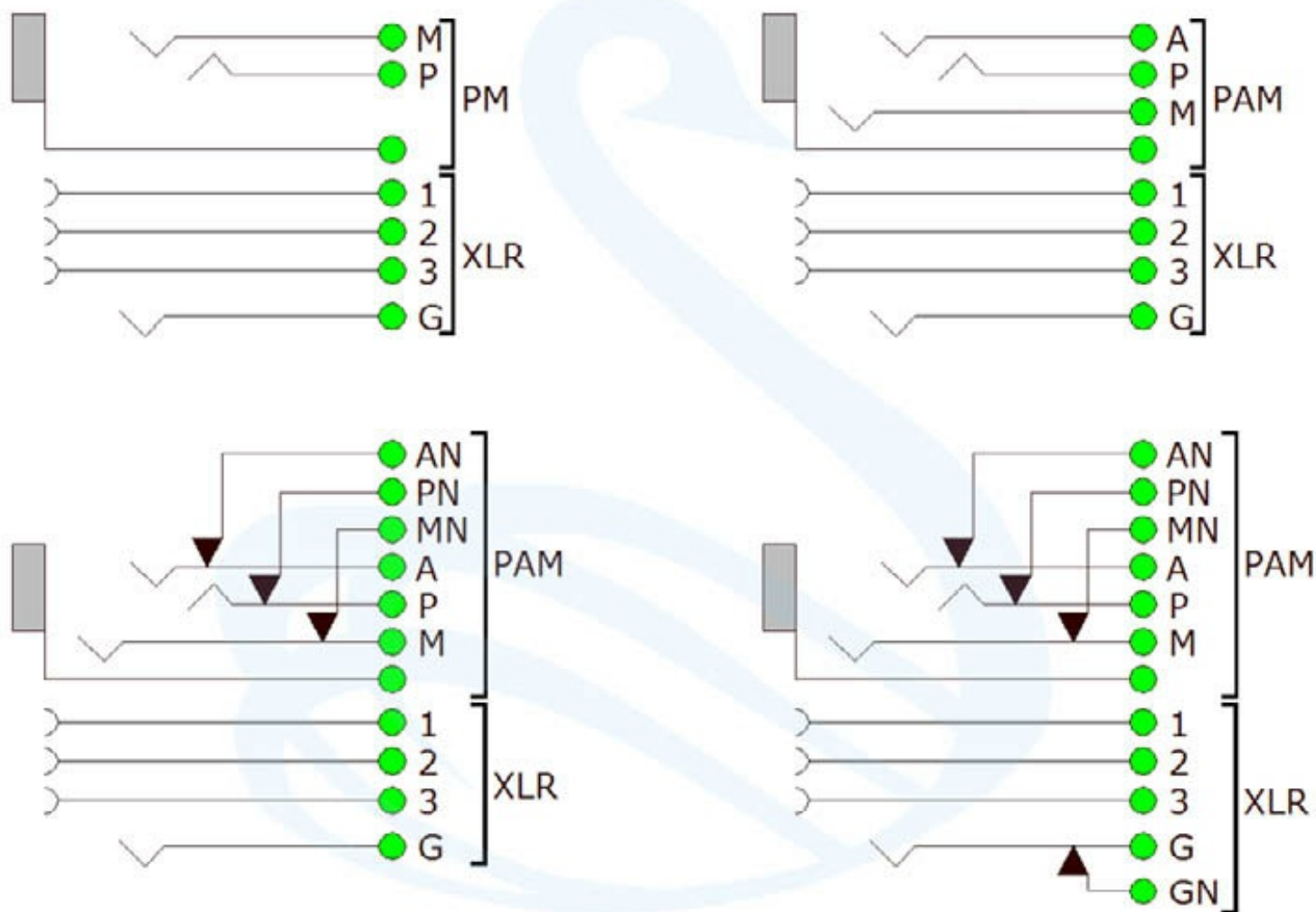


figura 4.75 configurações de circuitação do conector Neutrik, combo series, modelo NCJ5FI-H
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essas alternativas de circuitação flexibilizam bastante as possibilidades de comutação interna para os fabricantes de mixer.

pad

Como fica claro na figura 4.71, os sinais provenientes dos microfones passam inicialmente por um **pad**, ou atenuador de entrada. Geralmente o pad tem a forma de uma tecla, que permite selecioná-lo ou não. Quando selecionado, o pad introduz uma atenuação fixa, geralmente de 30,0 dB ou de 20,0 dB. O pad é usado quando os sinais gerados pelo microfone são elevados a ponto de saturar o pré amplificador que o segue. Um exemplo clássico disso é quando microfone dinâmico convencional é fixado na aba de uma caixa de bateria, para captação muito próxima. Nessas condições o sinal produzido pode apresentar picos de até 400 milivolts. O que, em condições normais de pressão e temperatura, vai saturar em larga margem o pré amplificador. E com isso a forma de onda pode ser tão violentamente ceifada que o resultado audível é inaceitável.

pré amplificador com controle de ganho Por favor, continue acompanhando esta descrição com o diagrama da figura 4.71. Veja que adiante do pad está o pré amplificador,

com um controle denominado **gain**, ou **trim**, cuja função é possibilitar o ajuste de ganho do pré amplificador. Este controle deve ser usado para prevenir distorções, por efeito de ganho muito elevado.

overload

Usualmente há um led ligado na saída dos pré amplificadores, que acende com a presença de picos que se aproximam do ponto próximo das distorções. Esse é o indicador de sobrecarga (**overload**), que funciona como uma sinalização para que seja reduzido o ganho do pré e, se isso se mostrar insuficiente, para ativar o pad.

seletor mic/line

Veja que entre a saída do pré amplificador e o LED overload está a chave seletora de duas posições, que permite selecionar ou o microfone, ou o sinal de linha.

insert

Seja qual for a seleção, o sinal prossegue para o insert. Esta é uma tomada especial que quando não é utilizada deixa os sinais passarem diretamente. Quando utilizada, encaminha o sinal por um de seus contatos, o **send**, e o recebe de volta por outro, o **return**, algumas vezes chamado **receive**. Sua função é possibilitar a inserção de um processador externo, a exemplo de uma unidade de reverberação.

Como as ligações do send do mixer para o periférico e do return são ambas não balanceadas, alguns mixers mais sofisticados implementam esse recurso com dois conectores balanceados, que podem ser XLR ou PAM.

equalizadores

O equalizador do mixer é a etapa que segue o insert. Dependendo do mixer eles podem variar de um simples controle tonal de dois knobs até um sofisticado equalizador paramétrico. Ainda tomando a figura 4.71 como referência, vemos que o equalizador se faz acompanhar de um seletor denominado **bypass**. É através desse seletor que a maioria dos mixers permite bypassar o equalizador, o que é muito cômodo quando se quer comparar o sinal com e sem equalização.



figura 4.76 tecla de bypass do equalizador acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja as teclas bypass dos equalizadores na figura 4.76. No lado esquerdo o equalizador está bypassado e no lado direito ele está inserido na circuitação.

fader de canal

Na sequência o sinal é encaminhado para um fader, onde é feito o ajuste de nível de saída do sinal em curso pelo canal.

pan pot

A seguir o sinal é encaminhado para o pan pot do canal. Já vimos que a função deste é dividir o sinal do canal de entrada entre as saídas esquerda e direita.

barramentos

As saídas do pan pot são ligadas a duas barras, a master L e a master R. Essas barras, e todas e quaisquer outras semelhantes que possam haver nos mixers são denominadas barramentos de mixagem.

Os seguintes barramentos são indicados na figura: master L, master R, subgrupos 1 e 2, solo e auxiliar.

mandadas de canal

Bem abaixo do bloquinho que representa o equalizador, o diagrama da figura 4.71 mostra dois seletores denominados POST/PRE.

Observe com cuidado que do lado esquerdo eles possuem duas ligações. A de baixo é proveniente do ponto de entrada do equalizador (antes do fader), portanto pré fader. A de cima é proveniente de um ponto que fica depois do fader. Portanto, uma ligação post fader. Os terminais comuns desses seletores são ligados a potenciômetros, encarregados de encaminhar os sinais para os barramentos de mixagem.

Na parte superior há quatro mandadas de canal para barramentos de subgrupo (SG). Para simplificação do desenho, o diagrama não representa as quatro mandadas, mas apenas duas delas.

Na parte inferior também há quatro mandadas para barramentos de auxiliar (AUX). Também aqui só estão duas das quatro mandadas.

Esses são os dois tipos principais de mandadas dos mixers. Ou seja, as mandadas de auxiliar e as mandadas para subgrupo.

Em geral, as mandadas para auxiliar são feitas mesmo através dos potenciômetros, na condição pre fader ou pós fader.

Entretanto, as mandadas de subgrupo podem ser feitas através de potenciômetros, mas também através de um grupo de teclas, que controla o endereçamento dos sinais de saída para os subgrupos e também para os masters. Possibilitando encaminhá-los ou não para os módulos de saída desejados. Esse conjunto de teclas é o grupo de endereçamento dos canais de entrada. Veja um exemplo na figura 4.77.



figura 4.77 teclas de endereçamento de mixer acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne solo, PFL e AFL

Além disso, há sempre uma tecla denominada solo, que encaminha os sinais do canal para monitoração, com audição via fones de ouvidos. O termo solo é de origem norte-americana.

Nos mixers ingleses o termo que o substitui é PFL, para Pre Fader Listen, isto é, audição antes do fader. Portanto, a audição de um ou mais canais na condição PFL não é afetada por movimentações do fader.

Do mesmo modo, essas audições não afetam os sinais de saída do mixer.

Uma das grandes vantagens desse recurso é que o sinal de entrada do canal pode ser monitorado mesmo com o fader em posição de atenuação máxima. Quando o mixer possui tanto o solo quanto o PFL, este último é mesmo o pre fader listen, e o solo é post fader listen, isto é, audição após o fader. O uso desse recurso nos mixers desenhados para broadcasting é geralmente denominado “cueing”.

A figura 4.78 mostra a tecla “solo” de um mixer convencional.



figura 4.78 tecla solo de um mixer convencional acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outro recurso de monitoração presente em muitos mixers é o AFL, para After Fader Listen, ou seja, audição depois do fader. Portanto, essa forma de monitoração segue os movimentos do fader. Eis porque muitas vezes este recurso é denominado Post Fader Solo.

Há ainda mais outro termo relacionado com a monitoração, denominado APL, para After Processing Listen. Ou seja, audição depois do processamento. O APL possibilita a monitoração do sinal após seu processamento.

Em alguns mixers o acionamento da função solo substitui nas saídas master os sinais em curso pelos sinais a serem solados. Neste caso, o PFL é também denominado de Solo Destrutivo.

mute

Esse recurso não faz parte do diagrama geral da figura 4.71. Mas a tecla “mute” do canal pode ser vista na figura 4.78. Uma vez acionada essa tecla, os sinais deixam de ser endereçados para os subgrupos e para as saídas master. Dependendo da arquitetura de cada mixer, a tecla “mute” pode ou não remover os sinais endereçados para as mandadas auxiliares.

réguas de canais

Fisicamente, todos os controles, comandos, potenciômetros, teclas de ação, LEDs indicadores, faders e outros elementos de operação e de monitoração de um canal do mixer é montado numa tira vertical e alongada, denominada régua de canal.

Como mostra a figura 4.79.

A régua de canal de cada mixer diferente do mercado apresenta suas próprias características, nenhuma delas exatamente igual a qualquer outra. Mas a organização elementar é sempre similar, já que em todas elas a sequência acompanha o fluxo dos sinais, como ele transita no diagrama de blocos da esquerda para a direita. Para ter uma ideia disso, por favor, volte à figura 4.71.

Cada mixer possui sua própria régua de canal, com algumas diferenças em relação aos demais mixers.

As régua de canal ficam dispostas longitudinalmente no mixer, geralmente do lado esquerdo. Num mixer qualquer haverá uma certa quantidade dessas régua, todas iguais entre si. Essa quantidade é exatamente igual à quantidade de canais de entrada do mixer, também chamada capacidade de entrada. Uma das vantagens disso é que quando o operador domina uma dessas régua ele acaba dominando todas as régua de canal, já que todas são iguais.

Em algumas régua de canal há uma função chamada SIP, abreviatura para Solo In Place. Trata-se de uma função do canal de entrada que, ao contrário do PFL, uma vez acionada, deixa todos os demais canais dependentes do controle de ganho e do fader.

O sinal ainda manterá o campo estereofônico, portanto respondendo ao controle **pan**. Portanto, essa função é muito semelhante ao AFL, razão pela qual também é chamada de AFL estéreo.

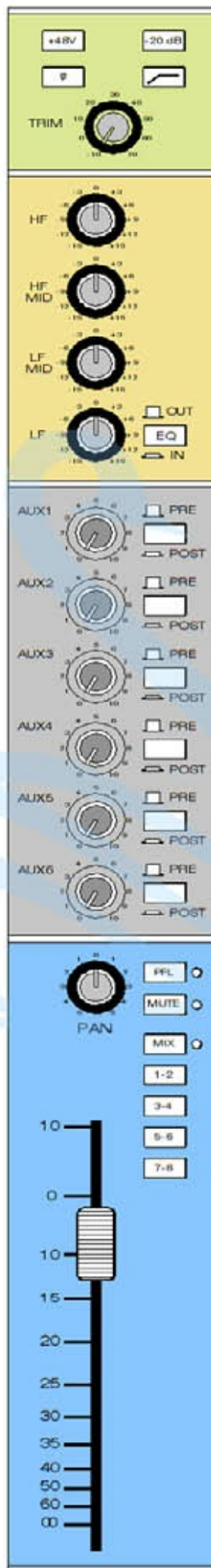


figura 4.79 régua de canal típica de um mixer convencional acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O

SIP é uma extraordinária ferramenta de monitoração à disposição do técnico e do engenheiro para verificar as contribuições relativas dos canais durante ensaios e passagens de som. Porém, jamais use-a em apresentações ao vivo porque ela é uma função do gênero destrutivo. Isto é, o SIP não se restringe aos monitores, mas afeta as saídas principais do mixer. O termo “solo in place” deve-se inicialmente à posição do ponto de tomada do sinal no mixer, e depois ao fato dos sinais serem alterados em todas as saídas.

Módulos de Subgrupo

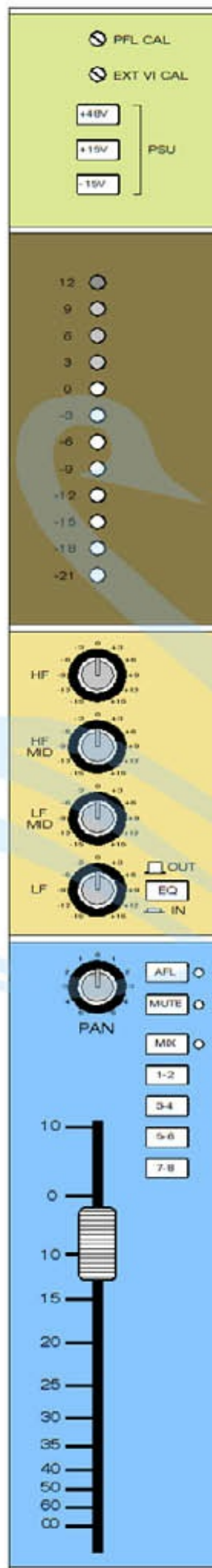


figura 4.80 típica régua de subgrupo de mixer convencional acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Suponha que pretendamos fazer a captação de um conjunto musical. Após um bom tempo termos
conseguido um excelente arranjo de microfones. No qual apenas a captação da bateria consumiu 8
microfones. Que, claro, ocupam 8 canais do mixer.

Suponha também que tenhamos perdido um tempo considerável ajustando os controles desses 8 canais do mixer para obter o que julgamos ser um balanço de boa lavra. Daí para a frente, o ideal é não mexer mais nos controles de quaisquer desses 8 canais. Ou o balanço que conseguimos a duras penas poderá ser prejudicado.

Imagine então que por qualquer motivo tenhamos que ajustar o nível da bateria em relação aos canais dos demais instrumentos.

Nesse caso, uma das coisas a fazer é retocar os faders dos 8 canais em proporções idênticas. Mesmo assim ainda corremos um enorme risco de perder o balanço.

Chato, não?

Nem tanto, pois é exatamente aí que entram os subgrupos. Também chamados grupos, submix, submaster, bus master, program bus e alguns outros nomes. Através dos grupos de endereçamento daqueles 8 canais, os mesmos podem ser endereçados todos para um único subgrupo ou para dois subgrupos, numa arquitetura estereofônica.

Os controles desse subgrupo, ou desses dois subgrupos, atuarão simultaneamente e em conjunto sobre os sinais provenientes dos 8 canais já combinados. Desse modo perdemos muito menos tempo do que antes, quando teríamos que ajustar os 8 canais. Com a brutal diferença que agora não corremos mais riscos de perder o balanço original.

A figura 4.71 mostra que os sinais de entrada dos subgrupos estão nos correspondentes barramentos de mixagem. Daí eles seguem até o equalizador, que também está associado a uma chave bypass.

Na sequência está o insert de subgrupo, com seus terminais send e return. Do insert o sinal é encaminhado para um potenciômetro, agora chamado master de subgrupo. Nesse ponto temos a saída do subgrupo, monitorado por um medidor VI. Também é desse ponto que o sinal é encaminhado ao pan do subgrupo, prosseguindo então para os barramentos master L e master R. Do mesmo modo, é desse ponto que é feita a ligação para o barramento solo.

4.3.2.3 Módulos Master Mais uma vez precisamos da referência dada pelo diagrama de blocos da figura 4.71.

Observe que os sinais que alimentam o módulo master são provenientes dos barramentos master L e master R.

Cada um desses sinais é feito passar por um insert de master, prosseguindo então para os master faders L e R. Seguindo daí para as saídas L e R principais do mixer.

Antes da saída, entretanto, os sinais são monitorados por medidores VI principais de

master, um para cada canal.

No caso de nosso exemplo, o barramento solo é ligado a um potenciômetro instalado no módulo master, que controla o nível de saída de solo para os fones de ouvido. Também é no módulo master que estão os potenciômetros aux master, que controlam o nível de saída dos sinais encaminhados para as saídas auxiliares.

Para efeito de simplificação de desenho a seção master de saída mostra apenas uma saída auxiliar (AUX1). Sabemos que a quantidade dessas saídas pode ser quatro, oito, doze ou qualquer outra, dependendo apenas do particular mixer e de sua capacidade.

No lado esquerdo da seção master de saída da figura 4.71 está uma tomada com a denominação **talkback mike**. Além de um oscilador seguido por um potenciômetro.

Ambos são levados a um amplificador combinador (o quadrado amarelo com uma cruz em seu interior), seguindo daí para os barramentos master L, master R, e barramentos de todos os subgrupos. Em todos os casos através de teclas de endereçamento.

A tomada talkback lá está para possibilitar a ligação de um microfone.

É através dele que o operador se comunica com as partes do sistema de som servidas pelos barramentos endereçados.

O oscilador tem funções de testes e ainda permite testar as mesmas partes do sistema antes mencionadas.

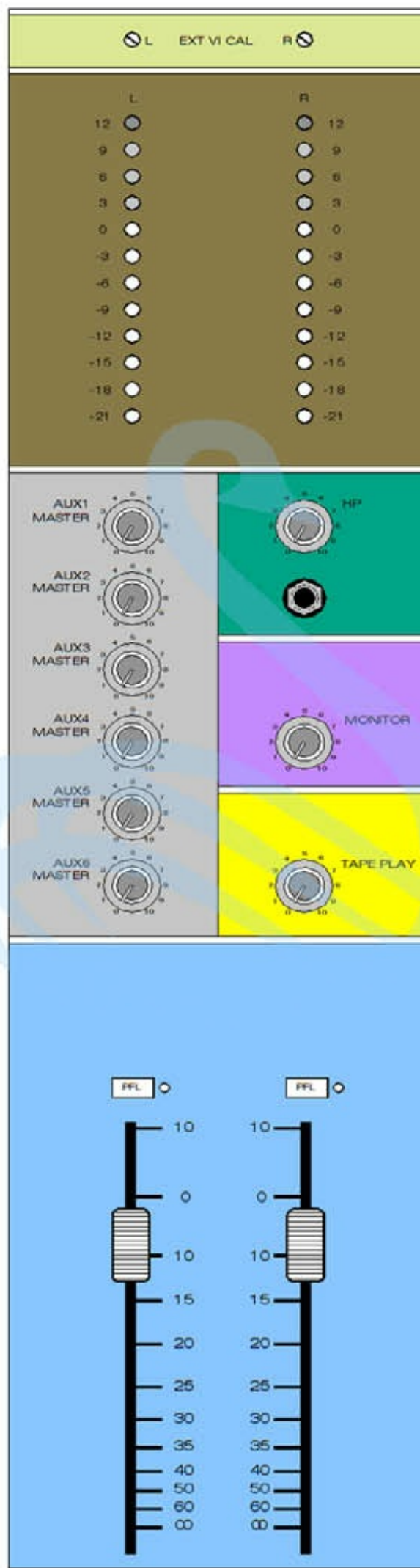


figura 4.81 régua típica de master de saída de mixer convencional acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.81 reproduz uma régua típica da seção master de saída de um mixer convencional.

Agora que falamos dos canais de entrada, dos subgrupos e dos módulos masters, podemos dizer que, dependendo do mixer, devem haver saídas para processadores dinâmicos de sinais, para unidades de efeito, para gravadores de fita e/ou de disco rígido, para máquinas de masterização, para amplificadores monitores e principais e, também, para fones de ouvido. No caso dos processadores dinâmicos e das unidades de efeito os sinais geralmente devem retornar para o mixer após processamento. Os sinais que devem ser encaminhados para os processadores podem ser enviados a partir das mandadas auxiliares.

Outrossim, muitos mixers possuem mandadas específicas para efeito. O que cria a necessidade de mandadas adicionais, denominadas mandadas de efeito.

4.3.2.4 Capacidade do Mixer e Formas Físicas dos Módulos Dizer que a capacidade de um mixer é 24x8x2 é dizer que ele está equipado com 24 módulos de canais de entrada, 8 módulos de subgrupo e 1 módulo master com saídas L e R.

Muitos fabricantes desenham e fabricam algumas variações diferentes de módulos de canais de entrada, de subgrupos e de masters, além de alguns outros mais específicos, como módulos de saída de matriz. Nesses casos, a intenção é que os usuários possam, a partir de uma mesma plataforma de chassi, compor o mixers mais adequado para suas necessidades.

Muitas vezes é possível fazer isso escolhendo alternativas de módulos a partir de algumas arquiteturas básicas propostas pelos fabricantes.

Essas variações são necessárias dependendo da aplicação que cada mixer terá.

Como veremos mais detalhadamente logo adiante os mixers podem ser fabricados para aplicações distintas.

Um dos caminhos que podemos trilhar para compreender melhor as diferenças entre os mixers projetados para aplicações distintas é pensar nas configurações dos módulos. Ao que vale dizer, pensar na flexibilidade dos mixers.

Para considerar as configurações dos módulos devemos ter em mente as formas físicas ilustradas nas figuras 4.79, 4.80 e 4.81. E pensar em cada módulo como sendo um conjunto composto de subconjuntos. Ou setores.

Vamos a um exemplo disso.

Pense num módulo de canal de entrada. Esse conjunto poderia ser formado pelos seguintes blocos construtivos: setor de entrada, setor de equalização, setor de auxiliares, setor de endereçamento e setor de medições.

Fisicamente, esses setores são dispostos em pilhas verticais que são a origem dos formatos vistos nas figuras 4.79, 4.80 e 4.81.

Pois bem, um dos elementos que faz do módulo de canal de entrada uma ferramenta mais adequada para essa ou para aquela aplicação é exatamente como os setores são projetados.

Assim, a seção de entrada de um módulo de canal de entrada de um mixer para ser empregado como monitor de palco pode ter as seguintes características:

- seletor de alimentação fantasma (phantom power)
- atenuador de 20 dB
- reversão de fase
- filtro passa-altas
- controle rotativo de ganho (trim)

Já a seção de entrada de um módulo de um mixer projetado principalmente para receber sinais de fontes estereofônicas poderia ter as seguintes características:

- controle rotativo de ganho (volume)
- balanço L R
- corte do canal L
- corte do canal R
- reversão de fase do canal L

Essas variações de seções de mesmo nome, componentes de módulos de mesmo nome, mas projetados para aplicações diferentes, também são aplicáveis a todas as demais seções.

E o mesmo é válido para todos os módulos de entrada e de saída.

4.3.2.5 Recursos e Funções Gerais dos Mixers Uma vez que vimos os principais fundamentos dos mixers, penso que se passarmos a discutir um a um os recursos e as funções mais comuns dos mixers, especialmente os não discutidos até agora, permitirá desenvolver um certo domínio teórico sobre eles.

direct output

Trata-se de uma saída direta do canal, cuja ligação é feita imediatamente depois do pré amplificador de microfone. Assim, o sinal retirado nesse ponto é bastante limpo. A saída pode ser encaminhada a um gravador multipistas ou a um processador de efeito, caso se queira que aquele particular sinal seja submetido a um efeito específico.

mandadas

As mandadas auxiliares, como as da figura 4.71, podem ser usadas com algumas finalidades diferentes. Por exemplo para criar mixagens de retorno de palco. Imagine que você esteja gravando uma banda com um grupo vocal. Quatro microfones estão captando o vocal, e você quer que o sinal combinado do grupo seja comprimido. Como comprimir os quatro canais com um só compressor? Fácil. Encaminhe os quatro canais para um barramento auxiliar, e o sinal nessa saída auxiliar poderá ser encaminhado para o compressor.

A saída do compressor deve retornar para a entrada de linha de qualquer canal não usado. E esse canal de entrada funcionará então como o barramento de mixagem de um mixer auxiliar.

Outro uso das mandadas é a geração de efeitos. Tipicamente, as mandadas dos canais são

encaminhadas para as unidades de efeito e as saídas destas encaminhadas para os “return loops”, ou encaminhadas diretamente para os retornos de efeito, ou stereo return, presentes nos módulos masters de muitos mixers.

Os mixers mais simples possuem apenas duas ou quatro mandadas. Nos mais sofisticados essa quantidade pode chegar a doze, ou mesmo mais.

A regra, que naturalmente tem exceções, é que as mandadas não possuam medidores VI nem qualquer forma de indicador de sobrecarga.

Em muitos mixers há uma tecla de duas posições (pre/post) associada às mandadas. Em outras, algumas mandadas são pré e outras são post. Na mandada pré o sinal é tomado antes do fader e na post o sinal é tomado após o fader.

Portanto, nas mandadas pré os sinais não são afetados pela particular posição do fader, enquanto nas mandadas post a intensidade do sinal varia com a posição do fader.

cue ou foldback

São mandadas semelhantes às discutidas acima. Porém, sua circuitação e todos os seus recursos são desenhados especificamente para maximizar sua função principal, que é possibilitar gerar mixagens diferentes para retorno de palco ou para envio aos músicos em estúdio, nos mixers de gravação. Desse modo os músicos podem ouvir mixagens diferentes das que ouvem os membros da plateia.

Com efeito, muitas vezes o músico prefere ouvir sua própria voz ou instrumento com mais ênfase em relação à mixagem principal destinada à plateia. Outras vezes se deseja que o instrumento responsável pela marcação do tempo soe mais alto nas mixagens de monitoração do que na mixagem destinada à plateia. Com bastante frequência os músicos também solicitam arranjos específicos em suas próprias mixagens de monitoração. Tudo isso é possível com as mandadas cue e/ou foldback.

mandada de efeito

Essas mandadas também são muito semelhantes às anteriores. Entretanto, são utilizadas para encaminhar sinais dos canais que se deseja que tenha qualquer tipo de efeito como reverb, chorus ou atraso digital. Uma vez introduzidos os efeitos, os sinais voltam para o mixer pelas entradas de efeito. Alguns engenheiros que querem aumentar o grau de controle exercido sobre os sinais com efeitos, não os ligam às entradas de efeito mas às entradas de linha de quaisquer canais de entrada vagos.

mute

Este recurso, provido nos módulos de entrada, desliga o módulo de saídas diretas e do grupo de endereçamento. É muito útil porque inabilita o canal sem a necessidade de alterar

quaisquer posições de pads, controles de ganho ou faders.

phase (inversão de polaridade) Trata-se de uma facilidade em forma de tecla com duas posições. Geralmente apertada ou liberada. Numa das posições a tecla inverte a polaridade do sinal de entrada. Assim, se o conector de entrada é um XLR de 3 pinos, o contato do pino 2 passa a ser feito onde deveria ser o do pino 3 e vice-versa. A utilidade desse recurso é real porque o padrão de pinagem existente nem sempre é seguido pelos fabricantes. O recurso também é bem-vindo quando há erros de conectorização.

filtro

Os módulos de entrada de muitos mixers possuem um filtro passa altas, com frequência de corte entre 60 Hz e 100 Hz, geralmente com atuação de 12,0 dB/oitava. Eles servem para reduzir ruídos de baixa frequência como os produzidos pelos sistemas de condicionamento de ar, rumbles de palco e outros tantos.

alimentação fantasma + 48 volts A voltagem é chaveada por um seletor e, como vimos anteriormente, serve para alimentar microfones condensador.

Nos mixers mais caros cada canal de entrada possui sua própria alimentação fantasma, independente. Nos intermediários, um grupo de canal compartilha a alimentação. O que significa que não é mais possível acionar o recurso para um só canal, mas sim para todo o grupo. Há ainda os mixers que possuem apenas duas condições de alimentação fantasma. Ou ela é inibida para todos os canais ou é acionada para todos.

controles automatizados de mixagem Esses controles (read, write, update e outros) comandam as funções de um microcomputador, que tanto pode ser parte integrante do mixer automatizado, quanto pode utilizar plataformas exógenas turbinadas a PC ou a MAC. As memórias do micro registram e atualizam determinados cenários (snapshots) de ajuste do mixer, o que facilita sobremaneira sua adaptação a aplicações distintas. Atualmente é possível automatizar todas as funções principais de um mixer, e até as funções dos processadores que trabalham com ela.

retorno auxiliar (retorno de efeito) Alguns mixers possuem módulos de retorno de auxiliar, ou efeito. Outros possuem os conectores de entrada de auxiliar ou efeito nos módulos de subgrupo. Esses conectores recebem os sinais de retorno de efeito ou retorno de processadores.

Geralmente as amplitudes dos sinais de retorno podem ser controladas por pots, após o que os sinais são encaminhados para os barramentos master, ou misturados com os sinais dos subgrupos.

seletores de medidor VI

Em muitos mixers os medidores VI das saídas master podem ser alocados às saídas de monitoração, e outras. Esse “endereçamento” dos medidores VI é feito por seletores de medidores VI, que ficam sempre nas proximidades dos próprios medidores.

monitor mixer

É um submixer que controla a mixagem dos sinais que devem ser monitorados pelas caixas acústicas monitoras. Sua vantagem é permitir a audição de um programa muito próximo de que está em curso pelo mixer, sem implicar na alteração dos níveis ou outros controles que atuam sobre o programa em curso.

chaves monitor select

São seletores que permitem escolher que sinais serão monitorados.

Evidentemente há algumas funções e recursos não discutidos acima. Contudo, uma análise ainda mais profunda sobre os mixers está além do escopo deste trabalho. Aos que se interessarem pelo assunto, há vários livros que tratam especificamente do assunto. Outra forma de estudar os mixers é lendo os muito catálogos, folhetos e literatura provida pelos fabricantes, boa parte dos quais incluindo detalhes de circuitação e outros.

4.3.3 Tipos de Mixers Muitos profissionais entendem que os mixers estão entre os mais complexos dos aparelhos de áudio. Em virtude disso e das inúmeras aplicações dadas aos mixers, os fabricantes foram criando diferentes tipos de produtos, cada qual concebido para uma determinada aplicação.

Além disso, diante das múltiplas alternativas e possibilidades, os projetistas passaram a compartilhar o projeto de suas máquinas com os usuários finais. Isto é, foram cada vez mais incorporando a seus projetos as necessidades declaradas dos usuários. E assim foram se acostumando a projetar mixers em função do que o mercado de fato exigia. O que acabou por criar mecanismos inusitados de “pesquisa de mercado”.

Essa condição interessante prevalece não só no exterior, mas também no Brasil.

Evidentemente, tal mecanismo detecta muitas características regionais de uso e de aplicações próprias, o que se reflete nos mixers. Tanto interna quanto externamente. Ou seja, os mixers tendem a ser “regionalizados”. Isso vale até mesmo para os termos, como Solo ou PFL.

Todo esse caleidoscópio de ideias dá origem a muitos tipos de mixers, com enormes variações dentro do mesmo tipo e até mesmo dentro da mesma classe de produto. Naturalmente isso também decorre do grau de liberdade de criação dos projetistas.

Vamos ver a seguir os principais tipos de mixers encontrados no mercado.

4.3.3.1 Mixer FOH

FOH é abreviatura para “Front of House”, ou Frente da Casa.

Um mixer FOH é usado para produzir as mixagens destinadas à plateia de um determinado espaço. E os mixer FOH são especialmente desenhados para atender aos requisitos impostos por essa específica aplicação.

Tipicamente são produtos com a quantidade de canais de entrada requerida para cada caso, com uma tipicamente elevada quantidade de subgrupos, além dos masters L e R, ou L, C (centro) e R e mesmo mais saídas masters.

Quando o mixer FOH só precisa gerar as mixagens para a frente da casa e nada mais, então as exigências com as mandadas são mínimas. Isso significa que, numa apresentação musical, além do mixer FOH há também, no mínimo, um mixer monitor.

Imagine agora que o mixer FOH não precisa mesmo gerar as mandadas de monitor de palco, mas vai precisar servir como apoio para gravar o evento. Bem, geralmente isso exige muito mais do mixer do que um típico produto desenhado para ser FOH pode oferecer em condições normais.

Um dos principais requisitos para todos os mixers FOH é uma plenitude de recursos de monitoração. Tanto nos canais quanto nos subgrupos e mesmo nos masters.

Os mixers FOH também são chamados de Main House Mixer.

4.3.3.2 Mixer Monitor ou Mixer Monitor de Palco

Este mixer é especificamente concebido para produzir as mixagens destinadas à monitoração em palco.

Embora não possamos considerar um requisito, a facilidade de saída de split é efetivamente mais do que um recurso. É uma economia considerável.

De fato, quando se usam dois ou mais mixers numa mesma instalação, o sinal de cada microfone precisa ser dividido ao menos na quantidade dos mixers empregados. Imagine então que os mixers sejam apenas dois. O FOH e o monitor. Pois bem, usamos as entradas de microfone do mixer monitor, e cada uma dessas entradas já possui uma saída totalmente independente da entrada, que pode ser usada para alimentar as entradas do mixer FOH. Essa manobra evita a necessidade de se usar espliters (splitters), que são aparelhos relativamente caros. Um exemplo de mixer com essa facilidade é o Spirit Monitor 2:40.

Um dos requisitos praticamente indispensáveis de um mixer monitor é que cada canal possua ponto de insert pre-EQ, isto é, precedendo à seção do equalizador.

Do mesmo modo, e ao contrário do mixer FOH, agora é fundamental que cada mandada tenha associada a ela um medidor VU. Por essa razão, a maioria dos mixers monitor possui uma ponte de medidores VU. A ponte é apenas uma caixa metálica alongada situada acima da parte

posterior do mixer. Em geral esses medidores VI são bem grandes, de forma que podem ser facilmente interpretados, mesmo quando as correspondentes saídas estão sendo “soladas”.

Para melhor condição de monitoração, muitos mixers monitor possuem e barramentos separados para PFL.

A maioria dos mixers de monitoração modernos já está preparada para operar com os sistemas de monitoração in-ear. O que resulta do fato indiscutível que é a crescente aceitação da monitoração in-ear por músicos noviciados e experientes. Isso significa que a estrutura de cada uma das mandadas desses mixers pode ser configurada para a condição de mono ou estéreo. Portanto, em condições de atender quaisquer exigências dos usuários de monitoração in-ear.

4.3.3.3 Mixer PA

Este é um termo geralmente aplicado aos mixers FOH, mas também aos mixers FOH que serão usados para gerar as mixagens de monitoração de palco.

4.3.3.4 Mixer para Sistemas de Reforço de Som Este termo tem o mesmo sentido que Mixer PA.

4.3.3.5 Mixer para Touring Este tipo de mixer é especialmente desenvolvido para viajar com constância, e também para ser montado e desmontado praticamente a cada viagem.

Assim, eletricamente é bastante semelhante aos mixers anteriores que já discutimos, mas mecanicamente é um produto totalmente diferenciado.

Inicialmente, qualquer mixer para touring que se preza se faz acompanhar de um case próprio para as agruras do transporte constante, e mais do que isso, para as a manipulação continuada a que uma carga como essa fica sujeita, além das trepidações, das pancadas e dos solavancos que se pode esperar de viagens por todos os tipos de estradas. Fato que se agrava muito em países nos quais a infraestrutura rodoviária é tão precária quanto a nossa.

Pelas mesmas razões, toda a parte externa dos mixers para touring também é desenhada para suportar condições de trabalho anormalmente agressivas.

A arquitetura interna de um autêntico mixer para touring é uma verdadeira obra de arte. As placas de circuito impresso não estão fixadas rigidamente ao chassi, mas desacopladas mecanicamente através de calços resilientes.

As duas partes dos conectores, geralmente do tipo plug-in, também têm montagem especial, ficando flutuantes por efeito de desacoplamento mecânico. Novamente, a ideia é que não sejam exercidas pressões anormais sobre os terminais dos conectores.

Portanto, toda a estrutura interna também fica protegida contra sacolejos, trancos

repentinos e choques mecânicos de todas as naturezas.

Do ponto de vista elétrico, a fonte de alimentação dos mixers para touring costuma ter proteção extra em relação aos demais mixers, já que estes ficam expostos a condições de energia desconhecidas, entre as quais algumas muito agressivas.

4.3.3.6 Mixer para Teatro Quando fazemos gravações ou mixamos para estéreo a dois canais ou para 5.1 ou mais canais. Quaisquer dessas formas de trabalhar é simples e muito consistente. Entretanto, trabalhos em teatros são bem diferentes das gravações.

Nos espetáculos teatrais mais simples os canais L, C e R e o surround podem ser o suficiente. Mas em cenas mais complexas podem haver ações longe do palco, e exigência para canais localizados, desde poucos deles até uma quantidade considerada bem farta.

Isso vale para dramaturgia, para musicais e tantos outros Gêneros. Há casos em que se quer dar a impressão de som em movimento, o que pode requerer uma certa quantidade de canais enfileirados numa sequência.

Outro exemplo seria a aparição de um vulto fantasmagórico durante uma peça qualquer. Pois bem, a possível melhor trilha para isso seria aquela processada por uma certa quantidade de canais envolvendo a plateia, e mesmo por canais colocados por entre a plateia.

Pode-se perceber que as possibilidades são praticamente infindáveis.

Para fazer frente a essas exigências os mixers para teatro devem ter uma enorme quantidade de saídas. Assim, os mixers para teatro são semelhantes aos mixer FOH, com o acréscimo de alguns recursos e, quase que invariavelmente, com o acréscimo de uma matriz.

Entre esses recursos devem estar a possibilidade de se fazer cada uma das mandadas pré ou pós fader.

Muitos me perguntam porque não se pode usar um mixer convencional com muitos subgrupos, sendo as saídas dos subgrupos empregadas para alimentar os muitos canais necessários nos teatros. A resposta é simples.

É que embora possamos endereçar cada canal para tantos subgrupos quanto quisermos, o nível do canal será o mesmo em todos os subgrupos. O que impossibilita o trabalho que deve ser feito.

A saída é mesmo utilizar a matriz.

Se queremos entender o mixer para teatro precisamos entender antes ter uma ideia geral do que é a matriz.

Ela nada mais é do que um pequeno mixer dentro do mixer principal. Sua arquitetura é a ilustrada na figura 4.82.

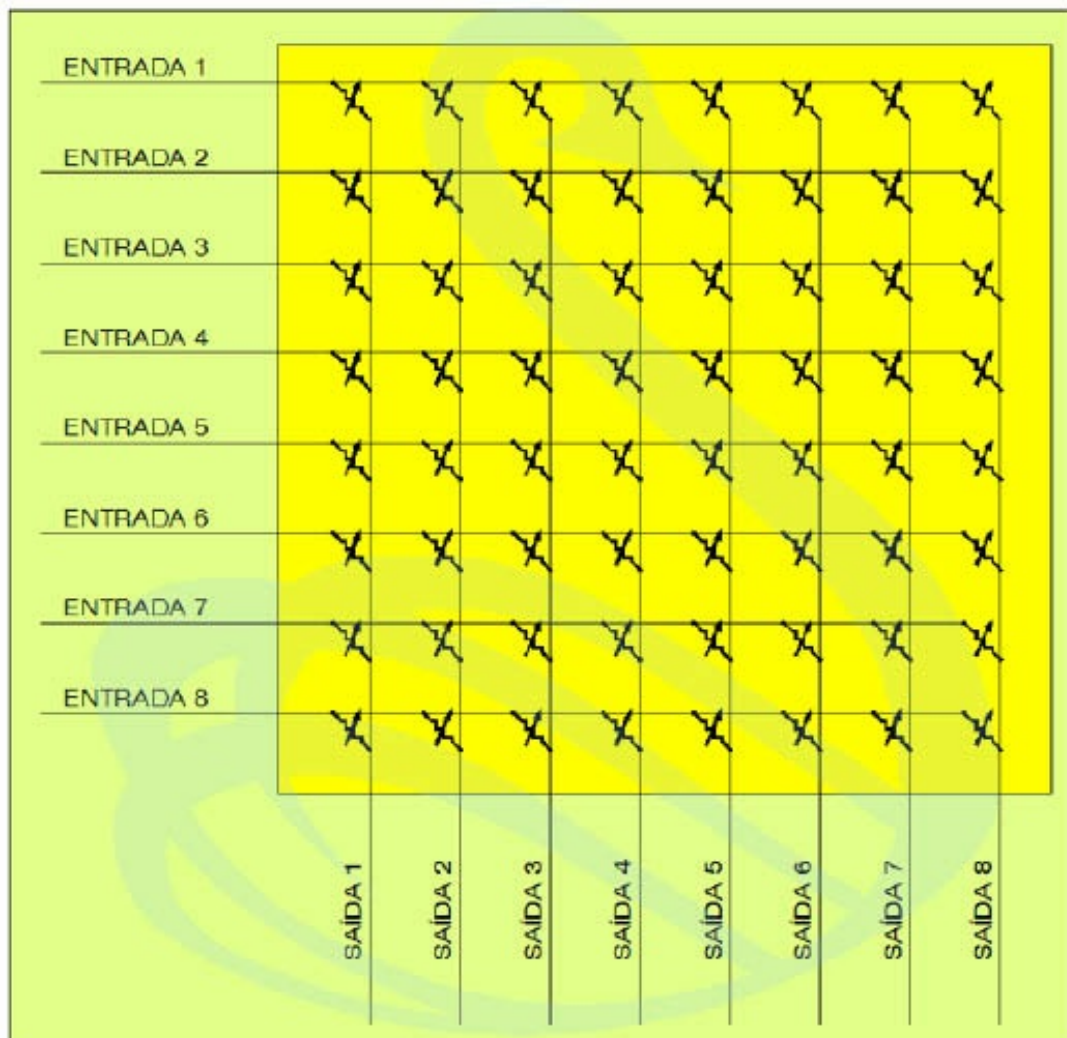


figura 4.82 arquitetura de uma matriz de áudio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja que essa matriz tem n entradas e m saídas. E que há pontos de cruzamento entre as entradas e as saídas. Esses pontos são denominados mesmo pontos de cruzamento (cross points).



figura 4.83 matriz de áudio com duas configurações diferentes de entradas e saídas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Então, podemos estabelecer ou não conexões em quaisquer pontos de cruzamento.

Por exemplo, se queremos endereçar os sinais da entrada 1 para a saída 5 estabelecemos a ligação como no lado esquerdo da figura 4.83. Veja que o círculo verde escuro indica que aquele é o controle de nível que devemos atuar para dosar mais ou menos sinal da entrada 1 para a saída 4.

Mas se queremos endereçar os sinais da entrada 1 para as saídas 2, 4 e 6 e, simultaneamente, os sinais da entrada 2 para as saídas 5 e 7, estabelecemos as ligações como no lado direito da figura 4.83. Mais uma vez, os círculos verde escuro indicam os controles que devemos atuar.

Portanto, vale observar que não só endereçamos uma entrada para uma ou mais saídas, como também estabelecemos com muita facilidade qual será o nível com que aquela particular entrada contribuirá, individualmente, para cada uma das saídas.

Evidentemente, o mesmo se aplica a cada uma das entradas.

Por questões de simplificação do desenho a figura não mostra que há um controle de nível associado a cada entrada da matriz e outro associado a cada saída. É exatamente isso que possibilita dosar as intensidades dos sinais como requer a típica aplicação de um teatro.

As matrizes são muito úteis em inúmeras outras aplicações, como por exemplo para gerar saídas para a imprensa. Mas quando falamos de uso em teatro esse recurso é indispensável.

4.3.3.7 Mixer para Som ao Vivo (Live Sound Mixer) Esta nomenclatura é bastante ampla e inclui todos os mixers discutidos até este ponto.

4.3.3.8 Mixer para Concerto (Concert Mixer) O mesmo que mixer para som ao vivo.

4.3.3.9 Mixer para Gravação (Recording Mixer) Uma das características mais marcantes dos mixers para gravação sempre foi o preço. Em muitos casos a cifra pode ultrapassar os 20 mil dólares por canal de entrada, ou até superar de longe essa marca fenomenal.

Creio que esse fato sozinho é suficiente para nos levar a pensar nos níveis de exigência que se tem dos bons mixers para gravação. Não só em termos de recursos, mas principalmente quanto à sua qualidade geral e, mais especificamente, quanto aos níveis de ruído finais obtidos.

Os mixers para gravação devem ter saídas suficientes para encaminhar os sinais para as máquinas multipistas digitais e/ou de fita, e dispor dos correspondentes retornos. Só assim é possível comparar os sinais encaminhados para gravação com os sinais já gravados.

Esse recurso é absolutamente importante, e mesmo crucial para evitar serviços desnecessários tais como repatching e a enorme perda de tempo que isso acarreta.

Não só as fontes devem poder ser ligadas às entradas de canais nas quantidades necessárias, mas é imperativo que quaisquer processadores dinâmicos possam ser facilmente inseridos nos canais.

Os mixers para gravação devem dispor de uma boa quantidade de entradas estéreo para retorno dos sinais provenientes das unidades de efeito. Que, a propósito, também devem poder ser encaminhadas diretamente para as saídas master.

É sempre desejável que os mixers para gravações disponham de teclas e de botões para o controle de transporte das máquinas de gravação, através de protocolos adequados.

A monitoração é um capítulo à parte nos mixers para gravação. Eles devem ter múltiplas saídas para possibilitar a monitoração pelo engenheiro de gravação e a monitoração pelos músicos. Sempre com muitas possibilidades de combinações.

Os recursos de monitoração para as salas de gravação devem ser adequados para os sistemas in-ear, de há muito empregados nos estúdios. Se possível, com alternativas mono/estéreo e com a quantidade de saídas compatíveis com o tipo de trabalho em curso e com o porte do estúdio.

Os recursos de monitoração para os engenheiros de gravação devem incluir saídas para os estúdios, tanto para monitoração near field quanto para monitoração far field, além das salas de controle e de saídas para fones de ouvido. Conjuntos alternativos de monitores tipo A ou B constituem um recurso muito apreciado nesse tipo de mixer.

Outro recurso praticamente indispensável durante as gravações são as teclas que permitem a comutação PFL/Solo In Place nos dois sentidos.

Como a monitoração é muito importante, é fundamental que os mixers para gravação disponham de medidores VU suficientemente grandes, além de todos os demais recursos já discutidos.

4.3.3.10 Mixer de Pós Produção (Post Production Mixer) O que se chama de pós produção de áudio é o processo de geração de trilhas sonoras criadas especificamente para filmes. Essa atividade tem sido alimentada pelo desejo crescente dos cineastas de realçar seus filmes e efeitos visuais com áudio de muita qualidade e efeitos sonoros especiais e cada vez mais espetaculares. Mesmo a televisão, que no início tinha o som original associado ao vídeo em tempo real, passou a usar as técnicas de VT e programas “filmados”. O que abriu um enorme espaço para a pós produção em televisão.

O processo da pós produção em si envolve inúmeras atividades, incluindo a produção e edição de diálogos, o ADR (Automated Dialogue Replacement), a produção e a edição de efeitos sonoros, a criação, gravação, mixagem e a edição de Foley, que é um conjunto de técnicas para produzir e substituir ruídos perdidos durante as gravações, ou cuja qualidade tenha ficado aquém das expectativas), a composição e a edição de música, e finalmente as mixagens, também chamadas de dubbing no jargão da pós produção.

Embora os filmes tenham sido editados em películas magnéticas de 35mm por décadas seguidas a fio, a partir dos anos 90 o som digital passou a predominar. E hoje a tecnologia digital é o padrão único em razão de sua extraordinária eficiência e alta qualidade.

As entradas das fontes de programa, geralmente saídas de gravadores digitais contendo o material captado em campo, e as ligações das demais máquinas, se faz nos mixers de pós produção praticamente como se faz com os mixers para gravação. Contudo, a pós produção praticamente exige que a inclusão de um sequenciador MIDI externo, que deve se encarregar de uma série de módulos de som, além de também poder controlar vários cenários de mutes automáticos.

O mixer de pós produção geralmente trabalha interligado a um VTR (Vídeo Tape Recorder) player, sendo que este geralmente deve seguir as mensagens de um protocolo de transporte. A partir disso, as máquinas multipistas podem ser configuradas para seguir o gerador de timecode do VTR.

Outro recurso muito comum nos mixers de pós produção é o chamado efeito “ducker”. Vamos discutí-lo mais detalhadamente quando estivermos falando de compressores e de noise gates. Mas para que tenhamos ao menos uma ideia superficial de imediato, podemos dizer que o efeito ducker permite a fala enquanto a trilha musical está sempre reproduzida. Só que durante a fala a trilha é atenuada numa proporção pré estabelecida. No jargão do rádio, da televisão, do cinema e da dramaturgia, esse efeito também é conhecido como “voice over”. E, evidentemente, ele é de suma importância para as narrações.

4.3.3.11 Mixer para Remixagem (Remixing Mixer) Embora este termo possa ser eventualmente encontrado separadamente, a função de remixagem ou é parte integrante dos mixers para gravação, ou dos mixers de pós produção.

4.3.3.12 Mixer de Som para Vídeo (Sound for Video Mixer) O mesmo que mixer de pós produção.

4.3.3.13 Mixer para Estúdio (Studio Mixer) Classe de mixer que inclui os tipos discutidos nos itens 4.3.3.9 a 4.3.3.12.

4.3.3.14 Mixer para TV

Este é um daqueles mixers bem especiais.

Dos canais de entrada, muitos devem ser estéreo e não só mono. Além disso, praticamente todos os barramentos dos mixers para TV devem ser estereofônicos. E deve haver profusão de barramentos de saída dedicados.

Os mixers de TV devem aceitar a ligação direta das híbridas (bobina especial destinada a converter sinais de canais de áudio de telefonia de dois para quatro fios e vice-versa), e possuir amplos recursos de patching e de roteamento interno para maximizar a flexibilidade de

toda a programação e de endereçamento dos sinais.

Um dos recursos indispensáveis nesse tipo de mixer é que ele tenha, no mínimo dois conjuntos de barramentos masters de saída. Assim um deles pode ser usado para a difusão porquanto o outro pode ser empregado, por exemplo, para gravar sinais dos auxiliares.

Outro recurso muito comum nessa classe de mixer é o chamado pop-up. Trata-se de uma maneira de ligar mecanicamente as réguas de canais, de subgrupos e de masters, de modo que as mesmas podem ser facilmente desplugadas para efeito de manutenção, enquanto réguas sobressalentes tomam o lugar daquelas. Em muitos mixers para TV essa operação pode ser feita mesmo com o aparelho operando.

Os mixers para TV também possuem sua própria ergonomia, com ângulos especiais da ponte e mesmo do próprio mixer.

Em muitos deles o operador pode posicionar as diferentes réguas a seu critério, de modo a personalizar a operação adequando-a ao máximo à suas características pessoais e forma de trabalho.

Outra coisa comum nos mixers para TV são recursos de iluminação e as inscrições, geralmente muito grandes, tudo destinado a facilitar a verificação instantânea de status por parte do engenheiro ou operador.

4.3.3.15 Mixer para Radio No Ar (On Air Radio Mixer) Tipo de mixer em tudo semelhante aos mixers para TV.

4.3.3.16 Mixer para Produção de Rádio (Radio Production Mixer) Este mixer é um meio termo entre os mixer para TV e os mixers de pós produção.

4.3.3.17 Mixer para Radiodifusão (Broadcasting Mixer) Essa classe de mixer abarca os produtos discutidos nos itens 4.3.3.14 a 4.3.3.16.

4.3.3.18 Mixer para Gravação em Locação (Location Recording Mixer) Em princípio este mixer deveria dispor de todos os recursos de um mixer para gravação. O que é impossível em razão de outros recursos, que são bem mais importantes porque viabilizam a ideia. Assim, os mixers para gravação local são caracterizados pelo tamanho, sempre muito pequeno para assegurar a portabilidade, e pela operação a partir de baterias.

4.3.3.19 Mixer Amplificado (Powered Mixer) É um tipicamente um mixer função que já incorpora um amplificador de áudio com dois ou mais canais.

Sua aplicação fica restrita a pequenos casos de reforço de som nos quais os orçamentos são reduzidos.

4.3.3.20 Mixer para DJ (DJ Mixer) Esses mixers são especializados e muito recentes. Voltados para uso dos DJs em festas e clubes, além de karaokê de videokê, eles oferecem muitos recursos interessantes.

As entradas que jamais faltam nesse tipo de mixer são para os velhos toca discos analógicos de vinil e para os CD e mp3 players, além de outros.

As entradas são geralmente estéreo e providas de conectores tipo jaques RCA. O que é feito para acomodar os aparelhos mais utilizados nessas aplicações, cujas saídas são tipicamente não balanceadas e terminadas em conectores tipo plugues RCA. Como regra, cada canal de entrada possui um equalizador capaz de atenuar e reforçar independentemente os graves, os médios e os agudos.

Como regra, há uma ou apenas duas entradas para microfone.

Os recursos mais comuns nesse tipo de mixer são uma chave de solo e um controle de crossfading, que atenua progressivamente uma fonte enquanto aumenta progressivamente uma outra. Esta é a versão do áudio do dissolve, tão comum em vídeo. Esta função é fundamental para os DJs que pretendem mostrar truques durante seu trabalho. Alguns mixers para DJs possuem uma tecla denomina “chave hamster” que inverte a atuação do crossfader.

O efeito “ducker” que discutimos rapidamente quando falamos de mixer de pós produção, também é muito comum nos mixers para DJ.

Uma boa parte desse tipo de mixer já possui efeitos digitais próprios, como peças de bateria, explosões, ruídos tipo OVNI e tantos outros. Muitos também oferecem samplers digitais de alguns segundos, o que possibilita gravar algumas passagens mais utilizadas.

As saídas, geralmente para amplificadores, também são feitas com conectores RCA. Mas usualmente são disponibilizadas saídas para fones de ouvido, o que é importante para a monitoração do DJ.

4.3.3.21 Mixer Multifunção (Multipurpose Mixer) São mixers dotados de canais de entrada, de subgrupos e de saídas masters, e dos recursos considerados mais comuns levadas em conta todas as principais aplicações previstas.

Em muitos desses mixers as funções podem ser direcionadas para uma ou para outra aplicação. Por exemplo, há mixers nos quais os medidores VI são normalmente alocados aos subgrupos, coisa comum nos mixers FOH. Mas se é possível mudar a alocação dos medidores VI dos subgrupos para as mandadas, então esse produto pode ser configurado para operar melhor como um mixer monitor.

4.3.3.22 Mixer Clássico (Classic Mixer) É um mixer multifunção sem recursos de mudança de

alocação de recursos. Portanto, um mixer comum cuja capacidade pode ser definida pela quantidade de canais de entrada, de subgrupos de saídas master.

4.3.3.23 Mixer para Microfones



**figura 4.84 mixer de microfone com 4 canais, Shure, modelo SCM268
cortesia Shure**

Os pequenos mixers para microfone têm arranjos semelhantes ao que mostra a figura 4.84. Entretanto, seus canais de entrada estão preparados para receber apenas microfones, e não sinais de linha. Um exemplo de um desses mixers é o que mostra a figura 4.84, onde podemos ver o painel frontal do aparelho na parte superior da figura e o painel traseiro na parte inferior.

Veja que no painel traseiro há uma tecla para acionar ou não a alimentação fantasma, no caso com 12 volts. A saída principal é balanceada e uma tecla permite obter nível de microfone (apertada) ou de linha (posição não apertada).

Este aparelhinho também disponibiliza cinco entradas auxiliares, níveis de linha, todas não balanceadas.

4.3.3.24 Mixer de Linha

Ao contrário do caso anterior, os mixers de linha apenas podem receber sinais com nível de linha, como os produzidos por CD players, mp3 players, gravadores e reprodutores de fita, decks K7, CD players, e mesmo as saídas da maioria dos instrumentos elétricos e eletrônicos.

Como praticamente todas essas fontes de programa são estereofônicas, os mixers de linha geralmente são estereofônicos. Como mostra a figura 4.85.



figura 4.85 mixer estereofônico Rane, modelo SM82S

cortesia Rane Corporation 4.3.3.25 Mixer automático Os mixers automáticos são um caso à parte, e sua aplicação é muito específica. Eles só encontram aplicação nos sistemas de mixagem automática, descritos no item 1.6 do capítulo 1. Contudo, quando são empregados mixers convencionais nestes sistemas, ao invés de mixers automáticos, o resultado geralmente fica abaixo das expectativas.

Em essência, o mixer automático é um mixer monofônico de microfones. Em razão de sua aplicação, ele geralmente é modular, sendo que cada módulo possui de 4 a 8 canais de entrada. Entretanto, é possível combinar módulos para se ter, em alguns casos, uma quantidade virtualmente ilimitada de canais.

No capítulo 6 veremos que, para qualquer sistema, quanto mais microfones abertos e sem uso tivermos, piores serão os resultados. Assim, nos mixers automáticos cada canal é equipado com um gate. Os gates são discutidos com detalhes adiante. A função do gate é manter o canal fechado enquanto o sinal por ele produzido não passa de um determinado limite, denominado limiar. A ideia é que o canal fique fechado enquanto ninguém o usa. Quando alguém começa a falar naquele microfone, o gate abre o canal, e o sinal prossegue normalmente. É exatamente essa capacidade de manter fechados os canais de microfones sem uso, e de abri-los automaticamente quando necessário, e de tornar a fechá-los quando conveniente, que dá o nome a estes mixers.

Assim, se imaginarmos o caso de uma câmara de deputados com 450 microfones, podemos ver o benefício que um grupo de mixers automáticos é capaz de trazer.

A maioria dos mixers automáticos possui uma série de recursos, todos muito úteis e práticos. Por exemplo, é possível limitar a quantidade máxima de microfones simultaneamente abertos. A razão é simples, quando muita gente fala simultaneamente, ninguém entende nada. Certamente todos vocês já viram isso acontecer em programas de televisão. Querem um exemplo? Em debates políticos pré eleitorais, nos quais às vezes o mediador sequer consegue chamar seus comerciais.

Outro recurso dos microfones automáticos é o chamado “override”, que permite que um microfone seja programado para ser prioritário. Nessa condição, o microfone pode fechar automaticamente todos os demais, bastando para tanto que ele seja usado. Esse microfone é denominado microfone do presidente.

Os mixers automáticos são instalados em locais que em determinadas ocasiões podem ter muito pouca gente, e em outras, verdadeiras multidões.

Portanto é de se esperar que o nível de ruído ambiente (NRA) varie de valores muito baixos a outros, consideravelmente elevados.

Dessa forma, se os limiares dos gates são ajustados para NRA's baixos, com o aumento de pessoas, e conseqüentemente do NRA, os gates podem acionar os canais mesmo que ninguém os utilize.

Inversamente, se os limiares são ajustados para situações de elevados NRA's, quando as pessoas deixam o local o NRA tende a diminuir, e com isso podem haver canais fechados mesmo com pessoas tentando utilizar os respectivos microfones. Especialmente se essas pessoas são indivíduos de mais idade, e com baixa potência vocal.

Mas quase todos os mixers automáticos possuem uma saída para isso. É o limiar variável, ou adaptivo. Com gate aberto ou fechado, os microfones conduzem sinais para o mixer. Esses sinais podem ser utilizados como amostras do NRA, oferecidas em tempo real. E a partir de uma combinação de todos esses sinais amostrais, em geral com o complemento de varreduras específicas feitas nos microfones para eliminar das amostras o que provém de microfones em uso, os limiares pré ajustados são constante e automaticamente monitorados e corrigidos em casos de variações do NRA no recinto.

Além disso, os mixers automáticos geralmente possuem uma informação lógica (+ 5 volts para microfone em uso, e 0 volts para microfone não utilizado) dos canais ativos, o que é usado controle de outras funções, atribuídas a aparelhos associados ao mixer. Mas que fazem parte do sistema.

Uma dessas funções auxiliar é o “speaker zoning”, sucintamente descrito no item 1.6, do capítulo 1.



figura 4.86 mixer automático Dan Dungan, modelo E-1

cortesia Dan Dungan Sound Design Outra é o controle de processadores digitais, capazes de guardar em memória alguns cenários, cada um deles associado a um canal. Por exemplo, um equalizador paramétrico capaz de memorizar 20 situações diferentes de equalização e filtragem. É como se tivéssemos 20 equalizadores paramétricos mais filtros notch. Os canais do sistema que têm aproximadamente a mesma necessidade de equalização são todos associados a uma dessas situações. E assim, podemos formar 20 grupos de canais. Quando qualquer canal do grupo é aberto, a informação lógica acionará o equalizador lógico controlado. E este, reconhecendo aquele particular canal, trata de inserir no circuito o cenário para tanto pré programado. O que acontece em poucos milissegundos.

A figura 4.86 mostra um mixer automático de excelente desempenho, fabricado por Dan Dungan em San Francisco, Califórnia.

Automação

4.3.4.1 O Início de Tudo Até o final dos anos 70 não se conhecia o termo “automação” aplicado aos mixers de áudio. De fato, até então as gravações multipistas eram feitas única exclusivamente com mixers analógicos. Dependendo do grau de dificuldade de cada gravação, uma só pessoa podia não dar conta do recado. E em situações extremas três ou mais operadores tinham que participar da seção de gravação e trabalhar em equipe. Mas isso também aumentava as possibilidades de erro, especialmente por falta de sincronismo entre os operadores. Um simples movimento em falso em qualquer dos faders e a catástrofe já estava a caminho.

Erros mais graves eram cruéis. Obrigavam que a peça inteira fosse repetida desde o início. Ou então, era repetida a partir de um certo trecho, mas obrigava que o material fosse editado. O que era a edição? Era o corte físico de fita com lâminas afiadas apropriadas e a recomposição mecânica das fitas de gravação com tiras adesivas fabricadas com essa específica finalidade.

Foi então que começaram a surgir as ideias de automatizar os mixers de gravação visando simplificar sua operação. A primeira ideia nesse sentido foi chamada de automação dos faders.

Foram consideradas duas maneiras de automação dos faders: usar VCA, sigla para Voltage Controlled Amplifier, ou Amplificador Controlado por Voltagem e motorizar os faders.

Em razão dos preços estratosféricos dos faders motorizados na época, os VCAs logo se tornaram a alternativa predileta.

4.3.4.2 Automação dos Faders com VCAs O VCA foi criado e desenvolvido por David Blackmer, da dbx. Sua intenção inicial com o VCA era dispor de um monobloco completo que pudesse ser usado como o coração de processadores tais como compressores, limitadores, redutores de ruído, noise gates, *etc.*

Blackmer também divisara que geradores digitais de efeito também poderiam se valer de um VCA. Bastava que ele fosse controlado por um gerador de envelopes, ou gerador de ADSR (Attack Decay Sustain Release), como é mais conhecido. Assim, se o controle do VCA fosse alimentado por um oscilador de baixa frequência (LFO), o resultado seria o conhecido efeito “trêmolo”, muito em voga nos anos 70. A velocidade e a profundidade do LFO também poderiam, eles próprios, ser controlados pelo VCA. Com isso, a taxa e a intensidade do trêmolo poderia variar no tempo.

Nos sintetizadores, os VCAs viriam a ser os responsáveis pela formatação do som.

Muitos ainda pensam que o envelope é que altera o volume final. O que, evidentemente, não ocorre. Ao invés disso, o envelope gera a voltagem de controle que, aplicada ao VCA, produz a modificação dos sinais em curso pelo VCA.

Mas o que vem mesmo a ser um VCA?



figura 4.87 ilustração do conceito de VCA– Voltage Controlled Amplifier acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.87 mostra o que esquema mais simples que se pode fazer de um VCA. Os sinais de áudio chegam ao dispositivo pelo terminal denominado entrada e são retirados pelo terminal denominado saída. Um terceiro terminal recebe uma voltagem de controle, geralmente na forma CC, cuja intensidade estabelece o ganho do VCA. Por exemplo, -5 volts CC significariam nenhuma saída e 0 volts significaria saída máxima. Portanto, a voltagem de controle, continuamente variável entre seus dois limites, estabelece o ganho do VCA.

Contudo, mais cedo do que se supunha o uso dos VCA nos mixers logo revelaria um sério inconveniente. As posições dos faders não correspondiam mais aos respectivos níveis dos sinais. O que atrapalhava a mixagem. E muito. Claro, diante do problema foram pensadas algumas soluções.

Uma delas era motorizar os pots e usar chaves momentâneas associadas a leds. Led aceso significando ON e led apagado significando OFF. Dessa forma, os controles estariam sempre na posição correta. Infelizmente, essa era solução muito, muito, muito cara. Quer ter uma ideia? Lá vai. Ela foi adotada pela Harrison nos mixers da Série X, um mixer analógico. Seu preço típico, posto fábrica, era de meio milhão de dólares. Descontos? Nem pensar !!!

A segunda solução era usar uma tela de vídeo com as posições virtuais dos pots e dos faders.

A terceira solução era aplicar o controle em incrementos/decrementos discretos, com displêis multileds refletindo em tempo real o valor exato do ajuste feito.

Outra solução, ainda, foi o chamado pot-led. A ideia era ter o eixo do pot rodeado por leds que indicariam a posição correta do ajuste. Essa solução, originalmente utilizada por Rupert Neve num de seus mixers digitais, foi seguida por muitos projetistas. Principalmente porque, esta sim, era uma solução eficaz e muito barata. Uma vez resolvido esse inconveniente o uso dos VCAs se propagou como fogo no mato seco. Os que primeiro usaram os VCAs de forma séria logo se depararam com duas vantagens muito vantajosas. Ambas facilmente entendidas pela análise da figura 4.88.

Do lado esquerdo da figura está um canal convencional sem VCA e do lado direito um canal com VCA. Veja que no primeiro caso os sinais de áudio passam pelo fader, porquanto no segundo não. Isso faz com que, no canal sem VCA, os sinais fiquem permanentemente sujeitos

aos constantes e típicos problemas de ruídos dos faders, que se manifestam com o uso e com o tempo.

De fato, as superfícies de contato dos faders aos poucos vão apresentando os sintomas da oxidação e da poeira microscópica que inevitavelmente penetra em seus meandros.

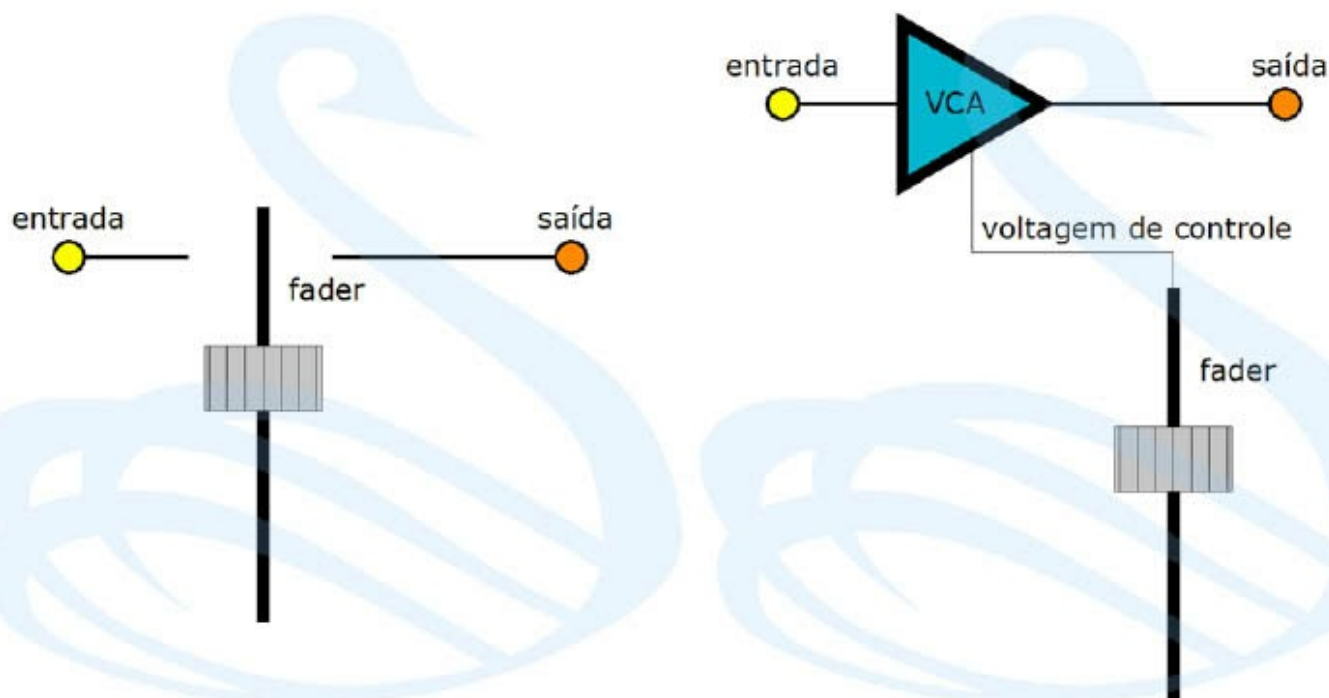


figura 4.88 canal de entrada sem VCA, à esquerda, e com VCA, à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A segunda vantagem é a possibilidade de controlar remotamente os sinais dos canais.

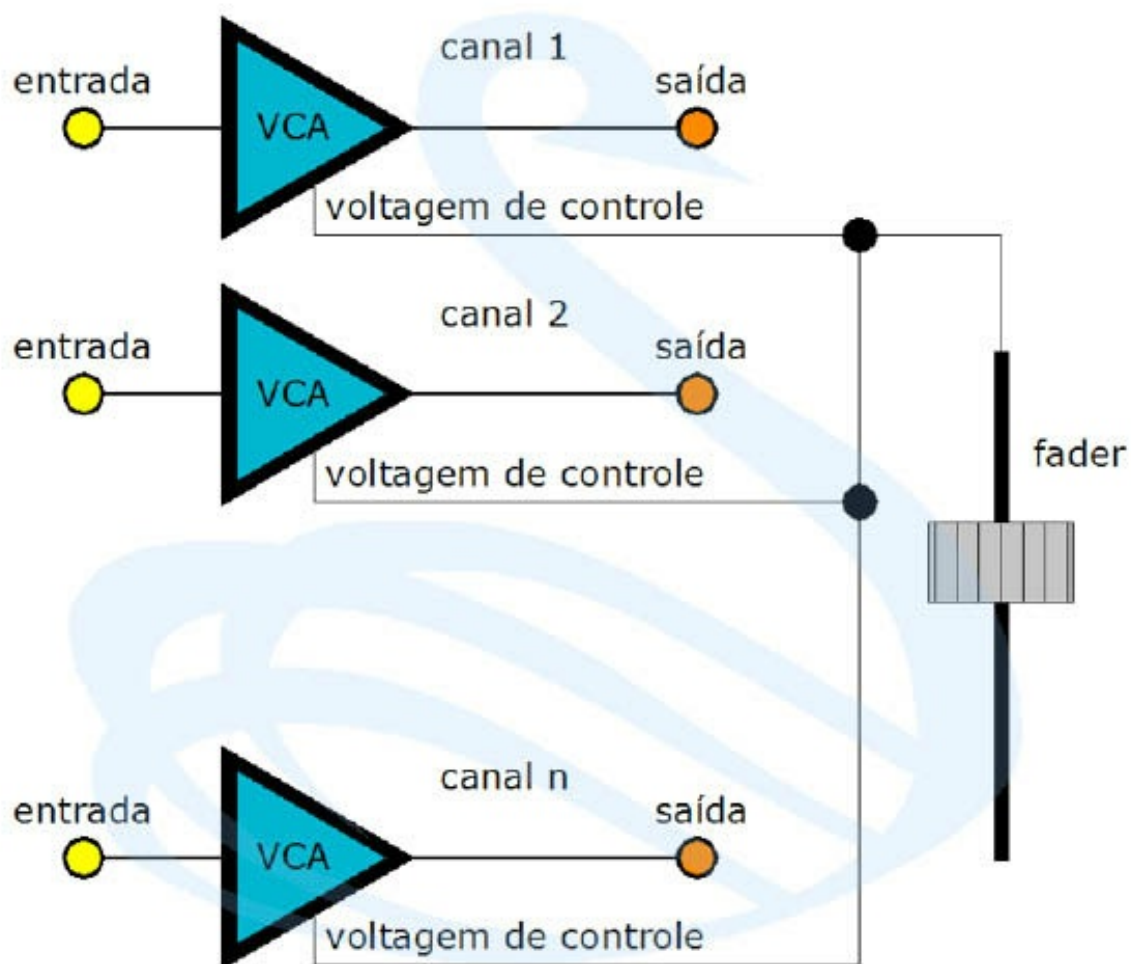


figura 4.89 agrupamento VCA acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Já discutimos as enormes vantagens que os subgrupos dos mixers proporcionam. Pois bem, quando se percebeu que os VCAs podiam controlar mais do que os canais, surgiram as primeiras ideias de agrupamento VCA.

Esta seria uma forma de obter os efeitos dos subgrupos utilizando apenas e tão somente os VCAs. Veja a figura 4.89.

Observe que um só fader pode controlar simultaneamente vários VCAs.

Essa foi a base técnica do desenvolvimento do conceito de agrupamento VCA. Ou seja, qualquer canal pode ser alocado a um particular grupo.

E assim, todos os canais alocados àquele grupo respondem à mesma voltagem de controle.

Produzindo o mesmo efeito que produziria um subgrupo convencional. Óbvio que as voltagens de vários faders podem ser combinadas para controlar o mesmo VCA. Como mostra a figura 4.90.

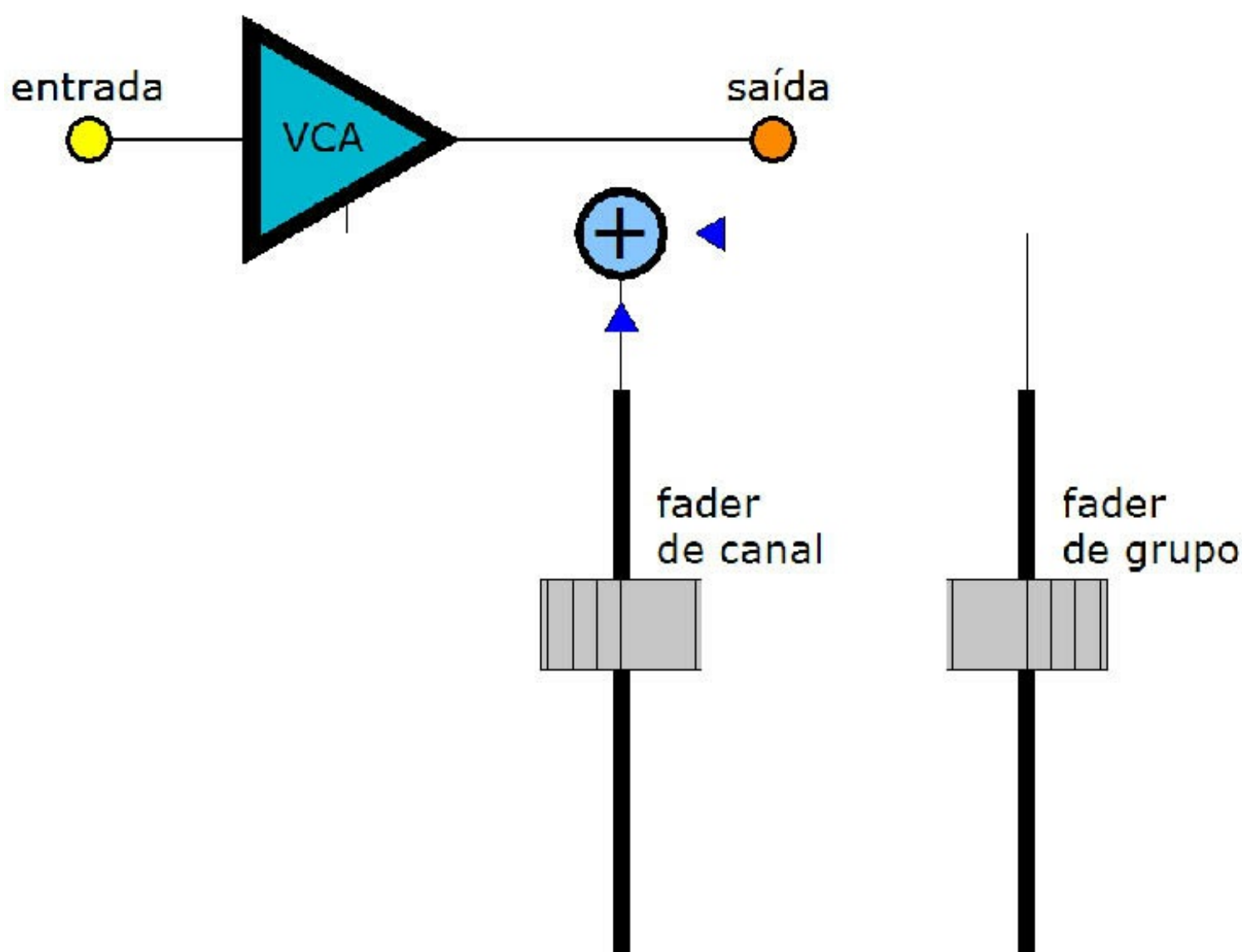


figura 4.90 duas voltagens distintas controlando o mesmo VCA acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
As figuras 4.89 e 4.90 praticamente materializam a ideia de estabelecer com os VCAs o controle individual de cada canal e também o controle de um grupo de canais.

Observe então que, aplicadas essas ideias, os subgrupos convencionais tornam-se desnecessários. Ao que vale dizer, os sinais de saída dos canais podem ser diretamente endereçados para os masters de saída sem prejuízo da função dos subgrupos.

Num mixer com grupos VCAs, todos os faders dos canais possuem uma pequena tecla através da qual se pode seleccionar um ou mais VCAs masters. Usualmente até oito deles.

4.3.4.3 Automação dos Faders com Motores Usar faders motorizados era uma alternativa para evitar o inconveniente da automação com VCAs, nas quais as posições dos faders não tinham qualquer relação com os níveis dos correspondentes canais.

Bastava que os movimentos dos faders fossem registrados, por exemplo por um computador, que deveria, então, repetir os comandos reais efetuados previamente pelo operador.

Nessa forma de automação cada fader é associado a um motor de precisão, que move o fader. Esses movimentos reúnem as propriedades de muita velocidade com extraordinária acuidade.

Os faders motorizados são eventualmente chamados de “flying faders”.

Como no caso da automação com VCAs, utilizando faders motorizados permite que um grupo de canais seja controlado pelo movimento de um só fader pertencente ao grupo em questão.

4.3.4.4 Automação Total dos Faders Com o passar do tempo, foi desenvolvida uma nova forma de automação dos faders. Ela reunia a automação dos faders com uso de VCAs e usava faders motorizados. Essa forma de automação é muito empregada em praticamente todos os mixers de pós produção.

4.3.4.5 Automação dos Mutes Uma das características de todos os mixers é que, independentemente de quão boa tenha sido a mixagem que se fez, a introdução adicional dos canais de áudio aumenta um pouco mais o ruído de fundo do programa gravado. Ora, então se é assim parece que podemos calcular o ruído adicional. Claro, basta usar a expressão:

$$\text{ruído adicional} = 10 \log C$$

sendo

- C é a quantidade de canais Executar essa tarefa manualmente é uma tarefa estafante.

Vou dar um exemplo de algo muito comum. Alguns vocalistas masculinos e femininos respiram com tanto vigor que os ruídos das respirações podem chegar a mascarar partes gravadas. A automação é uma ferramenta muito eficaz para controlar esse efeito. Digo controlar porque, embora toda a respiração possa ser removida, o resultado assim produzido seria péssimo, dando a impressão de que o artista não respirou durante toda a canção. Num de meus cursos de *Áudio Profissional* um músico me indagou se não era melhor tentar controlar os

efeitos da respiração com noise gates. Respondi o que penso. Que, primeiro, mutar e desmutar os canais é muito mais barato do que usar gates. E como podemos instruir o sistema para quando mutar e quando desmutar cada canal, não corremos o risco de falsos disparos de limiar, como pode ocorrer com um noise gate. Mas os gates têm a vantagem de propiciar o controle adicional de ataque e de release, o que não se pode fazer com os mutes.

Bem, se queremos instruir o mixer para quando mutar e desmutar, como ele fica realmente sabendo de nossas pretensões?

Basta usarmos um meio de sincronizar, como um timecode. Se o mixer tiver seu próprio sistema de mute, então deveremos sincronizar o próprio mixer. Em alguns casos o processo será controlado por um sequenciador MIDI convencional, via mensagens “note on” e “note off”, de forma que o sequenciador é que deverá ser sincronizado. A forma mais utilizada de sincronismo é lançar mão do timecode SMPTE/EBU e converte-lo num timecode MIDI (MTC).

Assim, todos os comandos de mute e de unmute serão registrados e executados nos tempos exatos para eles determinados.

Bem, os VCAs foram novamente divisados como uma tremenda mão na roda porque com eles era muito fácil automatizar as funções “mute” de um mixer analógico.

Assim, era fácil automatizar canais de entrada, mandadas e retornos de efeitos. O mute também pode ser usado para remover partes gravadas que não são necessárias para uma dada circunstância.

4.3.4.6 Dados e Cenários Num mixer dotado de automação, quanto movemos qualquer fader, os correspondentes movimentos são registrados por um processador. Esse processador tanto pode ser parte do mixer quanto pode ser uma entidade externa. Seja lá como for, esse processo de registro de informações é chamado escrever (write).

Nos mixers mais baratos a comunicação é algo diferente. Os dados são encaminhados pelo mixer na forma de mensagens MIDI, de forma que é possível registrá-las num sequenciador MIDI.

Uma vez que já tenhamos uma primeira versão de nossa automação escrita, podemos retocar ou mesmo alterar completamente os dados de mixagem de cada canal, inclusive individualmente.

Da mesma forma, quando entendermos que já estamos muito próximos do que queremos, podemos salvar o conteúdo de nossas informações e partir para uma “sintonia fina” até que tenhamos tudo exatamente como desejado.

Um cenário (snapshot) é um conjunto de dados de automação que reflete todo o estado de um mixer num determinado momento. Aí incluídas as automações de faders e de mutes.

Nos mixers digitais os cenários usualmente também incluem informações de equalização, de todo o processamento dinâmico aplicado, de efeitos, *etc.*

Uma das grandes vantagens de se criar os cenários é a grande economia de tempo, especialmente para cenários que representam situações que são repetidas com frequência.

4.3.4.7 Mixer Analógicos Digitalmente Controlados Já resumimos as principais funções de um mixer analógico. Mas poderíamos colocar tudo aquilo de outra maneira, dizendo que um mixer analógico fica definido pela quantidade de suas entradas e saídas, por sua flexibilidade de roteamento de sinais, além da capacidade de processar e combinar os sinais. Para finalizar, incluiríamos os recursos de monitoração e de comunicação.

Ora, nos mixers analógicos todas essas funções, e muitas outras, são obtidas exclusivamente com circuitação construída a partir de componentes eletrônicos e de fios. Pelos quais os sinais literalmente caminham percorrendo caminhos intrincados, múltiplos e repletos de obstáculos. Às vezes os sinais precisam ser simultaneamente endereçados para vários destinos. Outras vezes eles deixam o mixer para voltar depois de processados externamente.

De fato, quando um sinal percorre uma régua de canal, ele o faz de cima abaixo, por completo. Quanto mais possibilidades o mixer oferece, como equalização, compressão, mandadas, *etc.*, mais componentes e mais estágios de circuito existirão, tornando a circuitação progressivamente mais e mais complexa.

Como a ação de cada estágio de circuito precisa ser controlada pelo usuário, os potenciômetros e as chaves pertencentes a cada estágio encontram-se fisicamente na superfície de controle do mixer.

Ora, o que vemos dos potenciômetros nada mais são do que eixos de resistências variáveis, porquanto as chaves nada mais são do que as partes visíveis dos seletores. Esses controles atuam diretamente sobre os circuitos a que pertencem. Dessa maneira os dedos do usuário podem manipular facilmente os controles.

Esse é o conceito elementar por trás dos mixers convencionais, os quais discutimos até aqui.

Há um outro tipo de mixer, denominado digitalmente controlado.

Você olha para um mixer desses e julga que ele está ali mesmo, à disposição do operador. Ledo engano. Aquilo é apenas o que se pode chamar de controle remoto do mixer. De onde o operador pilota o mixer, que está fisicamente instalado num rack localizado nas adjacências.

Os potenciômetros e chaves que o operador manipula na superfície do controle remoto não atuam mais diretamente sobre os circuitos. Na realidade, esses “potenciômetros” são codificadores que transformam a posição física do eixo num valor binário. E a “chave”, que

deixa um seletor aberto ou fechado, também é associada a um valor binário.

Pois bem, esses valores binários são encaminhados para as correspondentes partes do circuito.

A primeira vantagem disso é que as informações binárias podem viajar grandes distâncias virtualmente sem perdas.

A segunda vantagem é que, ao invés de se enviar informações em operações manuais, computadores podem ser encarregados para fazer isso. Eles podem gravar, editar e ler com facilidade todas essas informações. Ou seja, aí estão todos os ingredientes para a implementação da automação. Que pode, inclusive, ser disponibilizada em tempo real.

Uma vez que os valores binários atinjam os circuitos, eles são convertidos imediatamente em voltagens equivalentes. As quais podem representar adequadamente ganhos de microfones, frequências de equalizadores, níveis de mandadas e o que mais quisermos. Naturalmente, voltagens também se prestam para abrir ou fechar relés, simulando a ação de chaves analógicas.

Podemos dizer que os circuitos reagem aos controles enviados, mas não mais diretamente, como no caso dos mixers analógicos. Agora, as reações são indiretas e feitas através de codificação digital.

Talvez a maior vantagem de um mixer desses seja a possibilidade dele poder ser “apertado” e ocupar muito menos espaço do que os mixers analógicos convencionais. Isso é possível porque, fisicamente, os controles não fazem mais parte da circuitação. O que libera a maior parte do volume ocupado no caso dos mixers analógicos. Com efeito, a prática mostra que a circuitação desprovida dos controles chega a ocupar apenas 20% a 30% do que ocupava com os controles.

Então, num mixer com, por exemplo, 16 canais, teria a circuitação desses canais bem densa, contida num mini rack instalado em local distante, enquanto a parte remota teria apenas os controles dos 16 canais.

Sim, mas espere um pouco. Já que não há uma relação física direta entre os controles e a circuitação eletrônica, podemos pensar num controle remoto que tenha um só jogo de controles. Como se o mixer tivesse um só canal. Esse jogo de controles seria, então, alocável a qualquer dos 16 circuitos de canal, podendo atender a todos eles. Claro que isso é mesmo uma possibilidade.

Alguns operadores não estranhariam a ideia. Outros sim. Para estes, poderia haver uma versão com tantos jogos de controle quanto fossem os canais. Seja lá como for, a operação remota pode ser facilmente obtida com os VCAs.

Os mixers analógicos digitalmente controlados acabaram dando origem, como era de se

esperar, ao que passou a ser chamado de superfície de controle. Enquanto isso, os mixers digitais ganham mais e mais fatias do mercado. Por outro lado, os mixers analógicos, equipados ou não com recursos VCA, continuam bem firmes no mercado, sendo, a propósito, muito apreciados.

Se você tem qualquer dúvida sobre isso, entre na Internet e procure os modelos de mixers analógicos disponibilizados pelos grandes fabricantes de mixers. Você poderá se surpreender.

4.3.5 Mixers Digitais O lançamento dos primeiros processadores digitais de sinais ocorreu num momento oportuno. Porque o mercado estava ávido pela estonteante combinação de recursos então oferecida.

O sucesso da novidade só não foi mais estrepitoso por dois motivos: seus preços, considerados muito elevados para a ocasião, e uma certa falta de segurança dos usuários, decorrente de uma tecnologia relativamente nova e ainda não entendida em sua plenitude.

Mas os anos se passaram.

Os preços foram caindo paulatinamente, até que as comparações mais superficiais de preços entre digitais e analógicos passaram a favorecer francamente aos primeiros. Enquanto isso, os militantes do áudio profissional foram assimilando mais e mais a tecnologia até que se sentiram familiarizados com o emergente universo digital.

Como vimos, a digitalização já tinha começado a invadir os mixers analógicos, uma vez que a automação, tanto na forma da motorização dos faders, quanto na forma da implementação de topologias VCA, ambas se apoiavam no uso extensivo de computadores.

Que por vezes tinham que ser disponibilizados para operar em conjunto com os mixers. Outras vezes eram recursos “onboard”.

Portanto, o lançamento do primeiro mixer digital foi uma “novidade” pré anunciada.

Como pré anunciada foi a tendência de uma substituição gradual dos mixers analógicos pelos digitais.

Outrossim, a velocidade dessa substituição não foi a esperada. Uma porque os preços dos primeiros mixers digitais só possibilitavam seu uso em grandes estúdios de gravação. Outra porque as arquiteturas dos primeiros mixers digitais tinham sido concebidas exclusivamente para gravação. Logo, aqueles eram aparelhos que não dispunham dos principais ingredientes exigidos pelos engenheiros de som para quaisquer outras funções que não as de gravação. Especialmente as de som ao vivo.

O tempo veio mudar essa situação.

Os preços confirmaram uma esperada e ansiada tendência de queda abrupta.

Os projetistas dos fabricantes também passaram a pensar em produtos mais em linha com

as arquiteturas desejadas pelo mercado. E claro, implementadas de forma econômica.

Todo esse esforço resultou numa situação tal que, depois de um certo tempo os mixers digitais passaram ser considerados opções diante de praticamente todas as aplicações. Inclusive som ao vivo. Exemplo claro e inequívoco foi dado pelas igrejas, que passaram a utilizar os mixers digitais e se beneficiar de seus amplos recursos.

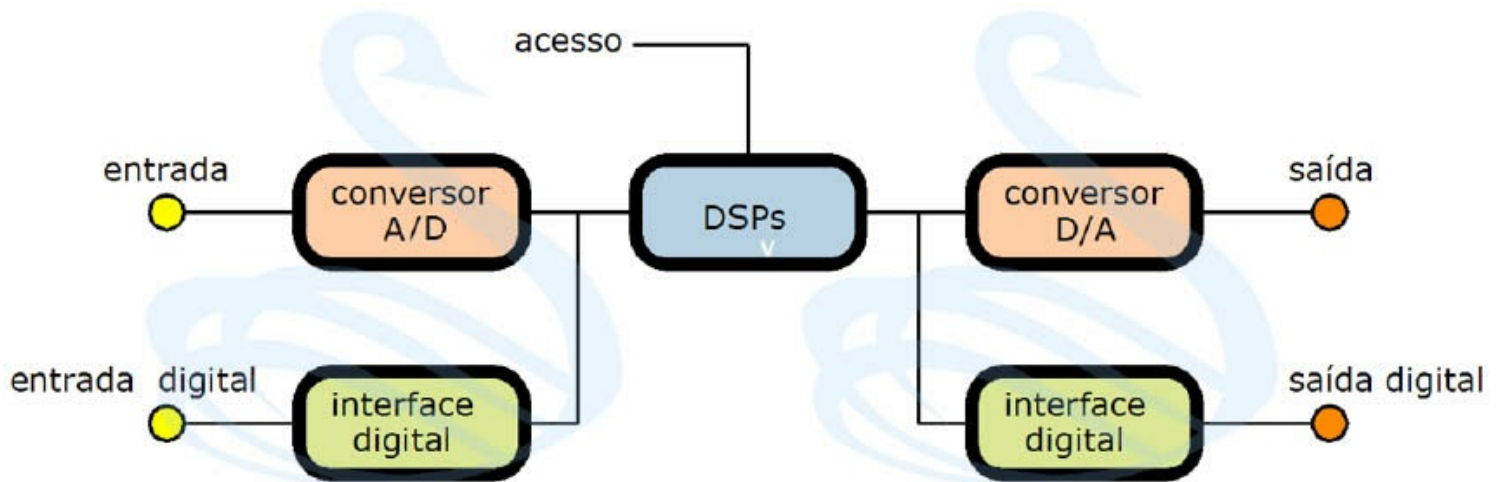


figura 4.91 arquitetura elementar de um mixer digital acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.91 mostra a arquitetura elementar de um mixer digital. É fácil perceber que a filosofia operacional desses mixers é bem diferente da de um mixer analógico convencional.

Inicialmente, os sinais analógicos de entrada são convertidos em equivalentes digitais por conversores A/D. Posteriormente, os sinais digitais escalados para as saídas do mixer são novamente convertidos, agora para a forma analógica mediante uso de conversores D/A.

Como se depreende da figura 4.91, entre os conversores A/D e D/A os sinais são digitais. No interior do mixer digital há um computador dedicado, baseado numa plataforma de DSPs, acrônimo para Digital Signal Processing, cuja função é manipular os sinais de áudio, agora digitalizados, incluindo ações como processamento e endereçamento.

Os controles existentes na superfície externa dos mixers digitais não fazem parte da circuitação física ou do fluxo de sinais pelo interior do mixer. Eles apenas interagem com o computador e com os DSPs, usualmente com a finalidade de reportar seus próprios “status”.

O computador e os DSPs também podem instruir os controles para que se atualizem, por exemplo em função de ações disparadas por comandos de automação.

Assim, podemos entender o mixer digital como sendo a combinação bem orquestrada de controles indiretos com um computador e respectivos DSPs esta é a maneira de implementar o processamento no domínio digital. Dizer que o processamento é feito no domínio digital é dizer que os sinais são manipulados por software. Portanto, o resultado final é sempre muito mais previsível do que nas arquiteturas analógicas, uma vez que as respostas são determinadas por algoritmos bem definidos.

Naturalmente, a capacidade e a inteligência presentes na programação determinam, em boa medida, as características gerais dos mixers digitais.

Os controles dos mixers digitais podem ser associados a muitas facilidades, uma de cada vez. Por exemplo, um potenciômetro rotativo pode ser utilizado para ajustar o nível de magnitude de um determinado sinal, como também pode informar a posição de um panpot, ou pode ainda representar o nível de saída de uma mandada auxiliar, ou pode informar o ganho ou a atenuação de uma determinada banda de um equalizador com resposta de 1/3 de oitavas, ou mesmo comutar um equalizador entre as condições off e on.

Por isso mesmo os fabricantes de mixers digitais preferem projetar mixers digitais com poucos controles, os quais são vinculados a esta ou aquela facilidade pelo próprio usuário. Do mesmo, o usuário geralmente pode associar a um determinado canal todo um grupo de controles. Isso significa que não é preciso ter tantos equalizadores quantos são os canais. Basta ter um único equalizador que é deslocado para atender ao canal desejado.

Tudo isso costuma ser muito facilitado por software muito amigáveis, cujas interfaces são apresentados em forma gráfica em displêis. Dessa maneira o usuário tem domínio total sobre todos os comandos possíveis. A forma gráfica também é muito utilizada nos mixers digitais para informar medições de níveis de sinais, cenário em curso e cenários armazenados, gerência de livreria de efeitos, configurações gerais e específicas, *etc.*

Além das entradas e saídas analógicas convencionais, muitos mixers oferecem entradas e saídas digitais, implementadas por meio de interfaces. A grande vantagem de se usar interfaces digitais de entrada e de saída é que, assim, não há mais a necessidade da conversão A/D nem da conversão D/A.

Nem sempre se reconhece facilmente a importância disso. O que está relacionado com o fato dos conversores A/D e D/A serem partes realmente críticas em todo e qualquer produto digital. Vejamos o porquê disso.

O erro de quantização é dado pela expressão

$$\text{relação S/E (sinal/erro)} = 6,02 n + 1,761$$

sendo

n a quantidade de bits da palavra do conversor A aplicação dessa expressão resulta num número puramente teórico. Na prática, o valor varia bastante em função de outros parâmetros que não fazem parte da expressão.

Independentemente disso, o certo é que o erro de quantização se manifesta como um ruído típico associado aos sons de frequências mais elevadas. Quando os sinais de baixo nível se aproximam do nível do LSB (Least Significant Bit), o erro de quantização passa a ser, ele próprio, o sinal. Portanto, nessa circunstância, ele é praticamente o único componente presente no sinal de saída. E, obviamente, audível !!!!!

O problema pode se manifestar de modo tão severo que, em alguns tipos de música,

especialmente nas que são permeadas por passagens de baixos níveis como o gênero clássico, as correspondentes distorções são tão inaceitáveis quanto irremovíveis. Na prática, o problema pode ser controlado com o uso da técnica do dither.

Dither é nome do processo através do qual se adiciona um sinal analógico de baixo nível, tipicamente – 20 dB, e baixa frequência, em geral 352 Hz, ao sinal original. O que se faz com dois objetivos. O que nos interessa agora é o objetivo de “confundir” o comportamento do quantizador, sempre que ele estiver trabalhando com sinais de baixo nível.

Quanto à linearidade, idealmente, um conversor de 16 bits converte linearmente todos os 16 bits da amostra. Mas isso raramente ocorre na prática. O erro de um conversor de 16 bits, ou de qualquer outra quantidade de bits, está intimamente relacionado com a acuidade do MSB (Most Significant Bit) da palavra digital. De fato, a falta de acuidade na interpretação do MSB pode resultar num erro que estabelece como valor do sinal a metade de sua amplitude real. Ora, esse é um erro crasso independente da forma como ele é aferido. Felizmente, esses erros também podem ser aliviados com a adição de mais níveis de quantização.

Essa discussão descortina o infortúnio que é o falso conceito de se aceitar que um conversor A/D de 20 bits tem mesmo o desempenho de áudio de 20 bits.

Apesar do elevado desempenho dos conversores de última geração, ainda são atribuídos a eles muitos outros erros, como os erros de ganho, as distorções de slew rate, as distorções de cruzamento em zero, além de tantos e tantos outros erros e imprecisões.

Todo esse elenco de falhas contribui para degradar a distorção harmônica e para a introduzir atrasos de grupo de monta.

Isso conspira contra a estabilidade dos sinais e favorece a degradação da imagem estereofônica e do palco.

Também há vários problemas de ruído introduzidos na fase de reconstrução dos sinais. O que obriga a utilizar filtros de reconstrução.

Esses filtros ou são do gênero “brickwall” ou são o oversampling digital. O efeito colateral produzido pelos filtros “brickwall” é uma falta brutal de linearidade combinada com a pesada rotação de fase nas altas frequências.

O que chamamos oversampling é apenas um aumento da taxa de amostragem numa certa proporção. Se chamarmos a nova taxa de amostragem de T_A e a taxa de amostragem recomendada pelo teorema de Nyquist de T_N , dizemos que o oversampling é igual a β vezes, sendo

$$\beta = T_A / T_N$$

O que de fato possibilita aumentar a taxa de amostragem é a introdução da interpolação digital antes da reconstrução do sinal.

Muita gente estranha que seja possível gerar uma quantidade de amostras superior às amostras produzidas durante a digitalização dos sinais.

Pois bem, pense que o sinal digitalizado possui uma quantidade finita de amostras. Por exemplo, 44.100 amostras/segundo. Mas uma vez que o sinal tenha sido reconstruído, sua quantidade de amostras é infinita.

Até porque não há mais uma quantidade discreta de amostras, como no domínio digital, mas sim infinitos valores que ocorrem continuamente sem quaisquer interrupções por qualquer unidade de tempo que possamos tomar como referência.

Evidentemente, o uso do oversampling não é obrigatório.

Mas os benefícios produzidos por essa técnica são tantos e tão independentes da arquitetura do conversor que seu uso tornou-se uma regra. Uma das razões desses benefícios é que as pesadas demandas e os pesados requisitos implícitos no teorema de Nyquist passam a ter uma nova dimensão, com níveis de exigência muito inferiores.

Como resultado, os filtros “brickwall” tornam-se praticamente desnecessários, a relação sinal/ruído aumentada muito e os ruídos de quantização são drasticamente reduzidos, especialmente no espectro de áudio.

Feitas essas considerações sobre os conversores A/D e D/A, pense agora nos DSPs.

Sua incrível funcionalidade requer acesso. Poderíamos ter acesso aos DSP através de um simples mouse.

Ou de um trackball. Faça a experiência e você terá uma surpresa muito agradável e outra muito desagradável.

A surpresa muito agradável é que é ótimo utilizar tanto o mouse quanto o trackball.

A surpresa muito desagradável é perceber rapidamente que os faders, os knobs e as teclas são mesmo indispensáveis.

É por isso que todos os mixers digitais dispõem dos knobs, dos faders e das teclas, como num mixer analógico convencional.

Além disso, todos os mixers digitais estão equipados com um visor LCD ou mesmo uma tela que lembra um monitor de computador.

Alguns mixers digitais possuem tomadas para ligações de mouse, de trackballs, de teclados ASCII e até mesmo saídas de vídeo para monitores.



figura 4.92 mixer digital Yamaha O2R96
cortesia Yamaha

A figura 4.92 mostra uma foto do mixer digital O2R96 da Yamaha. Escolhi esse particular modelo de mixer quando escrevi a primeira versão da Bíblia do Som. O que fiz em virtude da grande aceitação desse produto no mercado brasileiro.

Recentemente fiz uma atualização da Bíblia. Como usamos mixers digitais Yamaha PM5D em alguns teatros, como o Municipal de São Paulo, o Gran Teatro Nacional em Lima, Peru, e na Cidade da Música, no Rio de Janeiro, pensei em mudar do O2R96 para o PM5D. Mas duas coisas me ocorreram. A primeira que o mixer PM5D é muito caro e, certamente, não representa nem de longe o perfil de consumo típico no áudio brasileiro, especialmente nestes dias difíceis de pré ajuste fiscal e economia desorganizada. A segunda coisa que me ocorreu é que depois de bem mais de uma década de lançado, o O2R96 ainda continua firme no mercado, vendendo muito. O que contraria uma das lógicas mais elementares do mercado moderno, que é obsolescência programada.

Assim, vou manter o mixer O2R96 para fazer um pequeno exercício sobre os mixers digitais. Vamos fazer isso repassando rapidamente as principais características desse modelo.

O total de canais disponíveis é 56. Todos podem trabalhar com as resoluções de 44,1 kHz, de 48 kHz, de 88,2 kHz ou de 96 kHz. Sem limitações. Portanto, é possível usufruir a dinâmica própria dos sinais 24 bits/96 kHz.

Ao olhar para o painel traseiro do O2R96 você percebe que as entradas dos canais 1 a 16 são balanceadas e providas de conectores XLR e PAM. A seguir você percebe que as entradas

dos canais 17 a 24 são balanceadas, mas possuem apenas conectores PAM.

Ora, como é possível que a O2R96 trabalhe com 56 canais se, como vimos, só há conectores de entrada nos canais 1 a 24?

A resposta é simples.

Estamos falando de um mixer que possui capacidade de expansão de entradas e saídas de grande versatilidade. Com efeito, o chassi dispõe de seis slots tipo Mini-YGDAI, proprietários da Yamaha. Todos compatíveis com 24 bits/96 kHz. O usuário escolhe os cartões de entrada/saída que deseja e, assim, pode ajustar o mixer para suas próprias necessidades.

A conectividade é elevada porque é possível escolher entradas/saídas digitais nos formatos ADAT, TASCAM (TDIF), AES/EBU, Dante e muitos outros. Ou mesmo entradas e saídas analógicas extra.

Vou dar um exemplo disso.

Num dos projetos que fiz há alguns anos o cliente declarou que esse era o mixer que havia sido escolhido por sua organização. Ele precisava dos 56 canais.

O que fiz? Liguei 16 microfones diretamente nos canais 1 a 16 do mixer. Liguei outros 8 microfones a um Focusrite Octopre e as 8 saídas analógicas do Octopre foram ligados aos canais 17 a 24 do mixer.

Além dessas 8 saídas analógicas discretas, cada Octopre apresentava, na época, as seguintes opções de saídas digitais, todas 24 bits/96 kHz: AES/EBU, ADAT e S/PDIF.

Utilizei dois cartões Yamaha YGDAI MY 16-AE. Ambos são cartões I/O digitais, com capacidade de 16 canais cada, os dois com formato AES/EBU.

Cada cartão é facilmente inserido em qualquer dos slots providos no painel traseiro do mixer. As conexões de cada cartão são feitas através de 2 conectores D-subminiatura 25 pinos.

Precisei de mais 4 unidades Focusrite Octopre, às quais liguei mais 32 microfones, 8 a cada uma. Para essas 4 unidades escolhi saídas digitais 24 bits/96 kHz, AES/EBU. Cada unidade foi ligada a um dos conectores de um dos cartões YGDAI MY 16-AE.

Dessa forma foram usados os 56 microfones ligados aos 56 canais do mixer.

Além dos canais de entrada há saídas analógicas para estúdio, a clássica saída estéreo, a saída para control room e a saída para monitor. O painel traseiro possui 8 saídas balanceadas, designadas “omni”. Há entradas para 2 pistas analógicas e, também, para 2 pistas digitais. Ambas com conectores coaxiais e conectores AES/EBU.

Parte integrante do mixer é um conversor de taxas de amostragem. O recurso possibilita que, por exemplo, reprodutores de CDs e outras fontes digitais, sejam ligadas às entradas digitais do mixer e monitoradas ou endereçadas para quaisquer entradas sem necessidade de sincronismo com o clock do mixer. Independentemente disso, vários recursos de sincronismo

estão disponíveis.

Também há conectores que permitem a interligação de mixers entre si. Por sinal, recurso de grande utilidade. O processamento interno do mixer O2R96 é de 32 bits.

A superfície de controle do mixer está equipada com 24 faders de precisão de 100 milímetros, todos motorizados. Eles podem ser comutados instantaneamente para controlar os 56 canais de entrada.

Todo os efeitos disponíveis no mixer podem ser convenientemente inseridos em qualquer canal de entrada ou de saída. Para tanto, há um patching digital poderoso, fácil de usar e muito versátil. Da mesma forma, a função direct out possibilita que o sinal de qualquer dos 56 canais seja endereçado diretamente para qualquer saída.

Cada um dos 56 canais de entrada pode contar com processamento dinâmico individualizado, incluindo compressão, noise gating, ducking, equalização paramétrica de 4 bandas, atraso de sinais, *etc.*

O mixer O2R96 foi projetado para que fosse integrado às principais estações de trabalho de áudio digital (DAW), a exemplo do sistema Pro Tools da Digidesign. Como resultado, todos os parâmetros de processamento, de mixagem, de transporte, de preparação de trilhas e acesso aos controles de edição podem ser exercidos diretamente a partir da superfície de controle do mixer.

Também foi prevista a integração com o Nuendo da Steinberg, e a compatibilidade com os joysticks de controle do modo Pro Tools.

Tudo isso permite que ambientes completos de produção e mixagem sejam configurados com facilidade e rapidez.

Outro aspecto a ressaltar no mixer O2R96 é sua capacidade de produzir soluções surround. Entre eles estão o processamento avançado, o panning e a monitoração. O joystick é um dos recursos preferidos para o posicionamento preciso de programas 5.1 e 6.1 destinados a DVDs e outras mídias utilizando som surround.

Nessa mesma linha não foi esquecida a matriz dedicada ao mixdown 3.1 (LCRS).

A automação no mixer O2R96 praticamente abrange todos os parâmetros. Melhor ainda é que os cenários podem ser facilmente recuperados.

Para os que querem exercer o controle do mixer através de seus próprios computadores, a Yamaha oferece o software Studio Manager. Disponível tanto para a plataforma PC quanto para a plataforma Mac.

Na maioria dos mixers digitais a automação pode ser feita pelo processo de cópia e cola. Do mesmo modo que se copia e cola dados MIDI em sequenciadores. Muitas vezes não se quer exatamente uma cópia exata do material copiado e colado. Mas ele pode ser um bom ponto de

partida, que sofrerá alguns ajustes.

Apenas para constar, a figura 4.93 exibe um mixer SSL – Sound State Logic digital, concebido para uso ao vivo. Trata-se do modelo L500 Plus.



figura 4.93 mixer digital SSL Live, model L500 Plus cortesia Sound State Logic 4.3.5.1 Mixer Digitais Autênticos Estes são o que acabamos de discutir. Mas há duas outras formas de mixers digitais, ambas discutidas na sequência.

4.3.5.2 Superfícies de Controle Vimos que nos mixers digitais os controles não fazem parte integrante da circuitação do mixer. Então, podemos separar um mixer digital em duas partes: a superfície de controle e a circuitação do mixer propriamente dita.

Ora, quem usa uma DAW (Digital Audio Workstation) já possui toda a circuitação dos mixers, quando não os próprios.

Isso significa que é possível usar apenas uma superfície de controle, por sinal muito parecida com um mixer convencional, para controlar uma DAW.

Um exemplo contundente desse tipo de mixer é a Superfície de Controle 24 Pro Tools, como a da figura 4.94.



figura 4.94 superfície de controle 24 Pro Tools acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura mostra a superfície de controle e alguns acessórios. Embora esse aparato já tenha os pré amplificadores para microfones, realmente não se trata de um mixer. Para uma comparação muito leiga pode-se dizer que todos os comandos efetuados na superfície de controle, como movimentar faders, usar os comandos “pan” e quaisquer outros, tudo isso ocorre no âmbito interno do Pro Tools. Portanto, é como se fosse um mouse absolutamente poderoso. Então, do ponto de vista rigorosamente operacional, as superfícies de controle proporcionam um tipo de interação operador-máquina que em muito se assemelha ao que ocorre com um mixer convencional.

Acreditem, é uma enorme vantagem mover os controles desse modo ao invés de exercer os controles a partir da própria DAW. Isso justifica o sucesso de todas as superfícies de controle do mercado.

4.3.5.3 Mixer Software Os computadores revolucionaram o comportamento da sociedade moderna como um todo. Nosso mercado não haveria de ser uma exceção a essa regra universal. Evidentemente isso está por trás do sucesso das DAW. Que ainda contam com um molho de viés muito futurista, que são os “plug-ins”. Disponibilizados em doses generosas o tempo todo. Com poucos repetecos e muitas novidades.

Isso tem produzido uma forma estranha de migração de muitos engenheiros para as DAWs.

Os sequenciadores de áudio e muitos editores de áudio possibilitam mixar num ambiente restrito. Porque eles dispõem de tudo o que é preciso para proporcionar mixagens profissionais sem a necessidade de hardware externo adicional. Evidentemente, com as honrosas exceções dos microfones e dos alto-falantes amplificados. Isso, considerando que, de uma forma ou de outra já precisamos de uma interface de áudio. Para usar um mixer software, apenas temos que escolher essa interface com muito cuidado e adequação para o que precisamos. Também chamados de Virtual Audio Mixers, Mix Software e tantos outros nomes, já começam a surgir as especializações. Como por exemplo os mixers virtuais para DJs, os programas desenhados para performance ao vivo, *etc*.

Mas devo lhes dizer, tanto no Brasil quanto no exterior há os devotos dos mixers virtuais sem qualquer hardware, e há os defensores dos mixers convencionais baseados em hardware.

Que corrente tem razão? Pessoalmente acredito num meio termo entre tais extremos. Que, de caso para caso pode se aproximar mais disso ou mais daquilo.

PROCESSADORES DE SINAIS

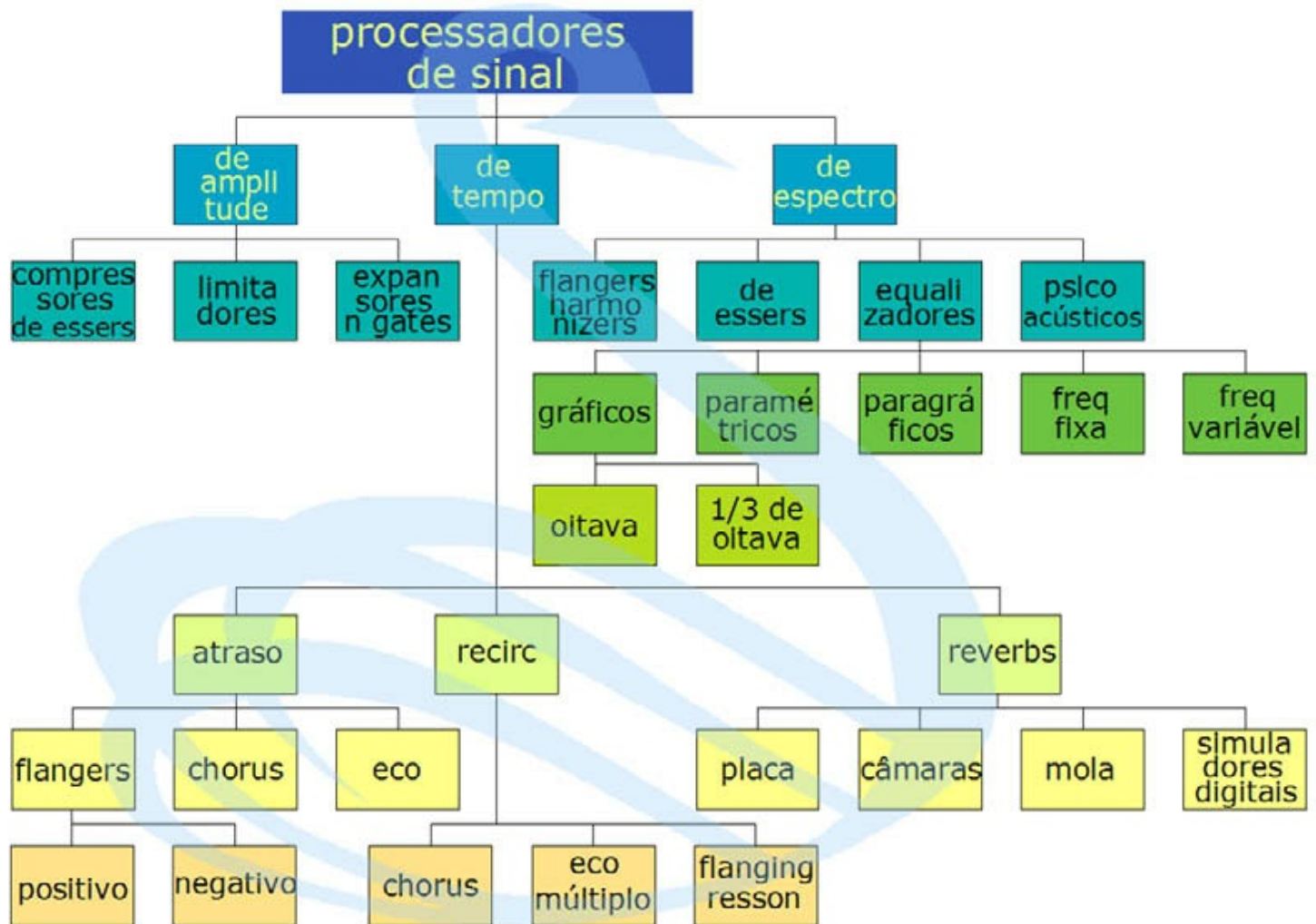


figura 4.95 grupo dos processadores de sinais, por categoria de processamento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Não há como negar que um amplificador de áudio seja um autêntico processador de sinais. E o que dizer de uma simples direct box? Poderíamos generalizar dizendo que praticamente todo aparelho de áudio é um processador de sinais.

Mas esse não é o sentido mais comum dado ao termo. Em seu uso corrente, o termo engloba um grande grupo de aparelhos capazes de modificar os sinais apresentados em suas entradas, para a obtenção de efeitos diversos. Seja por processamento de amplitude, de tempo, ou ainda, de espectro.

Quando falamos em rack de periféricos e outros termos mais, alguém pode julgar que os processadores de sinais são produtos recentes, só possíveis graças à tecnologia corrente. O que, evidentemente, seria um engano.

A maior parte dos processadores que veremos a seguir, o que praticamente representa o que há de disponível no mercado atualmente, já existe há décadas na indústria do áudio, sendo que muitos desses produtos já existiam em suas versões valvuladas. Como veremos a seguir.

A figura 4.95 mostra os principais processadores de sinal, arranjados por categoria de processamento.

4.4.1 Equalizadores

A equalização é um dos mais poderosos instrumentos à disposição do engenheiro de áudio. Como tal, pode operar maravilhas se adequadamente aplicada, ou produzir catástrofes, em

casos de aplicação indevida.

Equalizar pode ser algo realmente muito complexo, ou um procedimento relativamente simples. Se será isto ou aquilo depende exclusivamente dos conhecimentos de quem está fazendo a equalização.

A aplicação da equalização de modo incorreto é a consequência de uma ou mais atitudes errôneas. Neste caso, há duas classes de atitudes errôneas. Uma é a utilização imprecisa dos equalizadores. A outra é a falta de uma análise mais profunda dos sistemas, com vistas a identificar problemas que ocorrem corriqueiramente. Assim, quando essa análise é negligenciada, esses problemas, que a rigor são mesmo de difícil identificação, persistem na maioria dos sistemas. Suas soluções tipicamente não estão relacionadas com a equalização. Portanto, quando se inicia o procedimento de equalização sem que se saiba da existência desses problemas ainda não resolvidos, a forte tendência é que se exija da equalização mais do que ela pode fazer.

Naturalmente, se apenas tratados com equalização, os problemas continuarão. E o pior, agora mascarados pela equalização feita.

Pelos seríssimos problemas que equalizações incorretas podem causar aos resultados finais, até mesmo de sistemas muito bem projetados, é imperativo que tenhamos uma visão global de cada uma de suas possíveis causas, bem como dos pontos fortes e fracos dos equalizadores.

Logo, para evitar a utilização imprecisa dos equalizadores, devemos conhecê-los muito bem. Com detalhes. O que é nosso objetivo nas próximas páginas.

Esses conhecimentos podem oferecer um conjunto de condições aceitáveis para que a escolha do equalizador mais adequado para cada caso possa ser feita com critérios.

Quanto aos problemas de difícil identificação a que me referi, eles são tratados no capítulo 12.

4.4.1.1 O Básico dos Filtros O elemento primário de qualquer equalizador é o filtro.

Portanto, se queremos entender de equalizadores, precisamos conhecer um mínimo sobre os filtros. Como o próprio nome sugere, filtros são circuitos eletrônicos passivos ou ativos que tratam as frequências de modo diferente. O nome filtro vem exatamente dessa característica. Isto é, determinadas frequências são filtradas.

Há diversas configurações de filtros, cada qual com suas próprias características de filtragem.

Os filtros são construídos com indutores e capacitores. No capítulo 8 veremos com mais detalhes como se comportam esses componentes diante de sinais CA. Por ora, vamos apenas

admitir que a impedância dos indutores para sinais CA aumenta com a frequência. E que a impedância dos capacitores, também para sinais CA, diminui com o aumento da frequência.

4.4.1.2 Tipos Fundamentais de Filtros filtros passa baixas

Considere os circuitos da figura 4.96.

Todos esses arranjos permitem a passagem do espectro até uma determinada frequência, estabelecida pelo projetista do circuito. Acima dessa frequência, as demais são progressivamente atenuadas pelos circuitos.

O que é fácil entender, se levarmos em conta as características de impedância dos componentes.

Todos os circuitos da figura são algumas das muitas configurações possíveis de filtro passa baixas, cujas respostas, ou características de transmissão, estão representadas na parte inferior da figura.

Cada resposta abaixo do circuito que lhe corresponde.

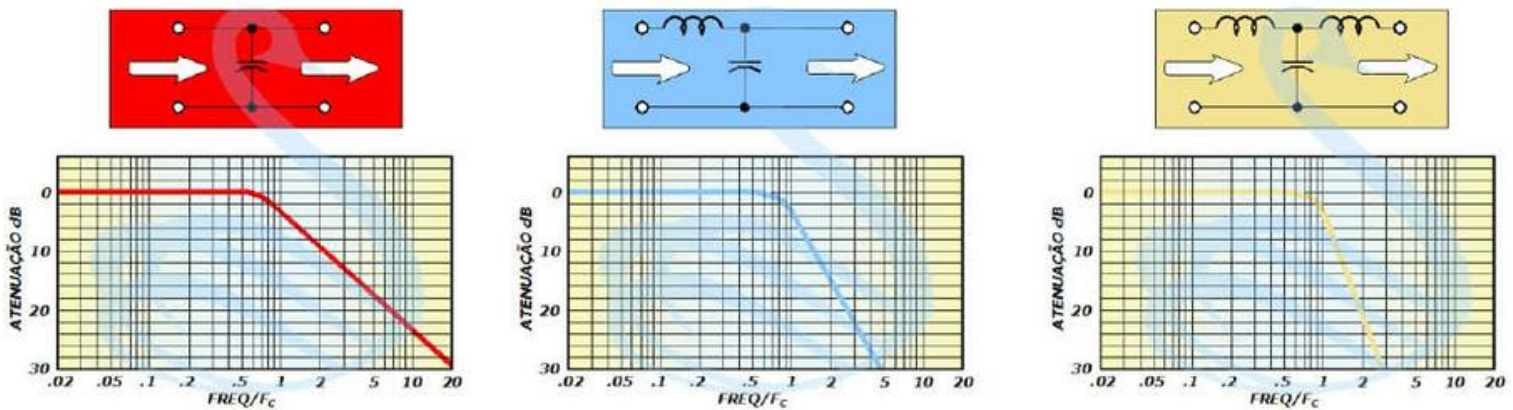


figura 4.96 característica de transmissão dos filtros passa baixas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A atenuação imposta pelo circuito da esquerda é 6,0 dB/oitava, e o filtro é chamado de filtro de primeira ordem.

O circuito do meio impõe atenuação de 12,0 dB/oitava, e o filtro é de segunda ordem. O circuito da direita é um filtro de terceira ordem, com atenuação de 18,0 dB/oitava.

filtros passa altas

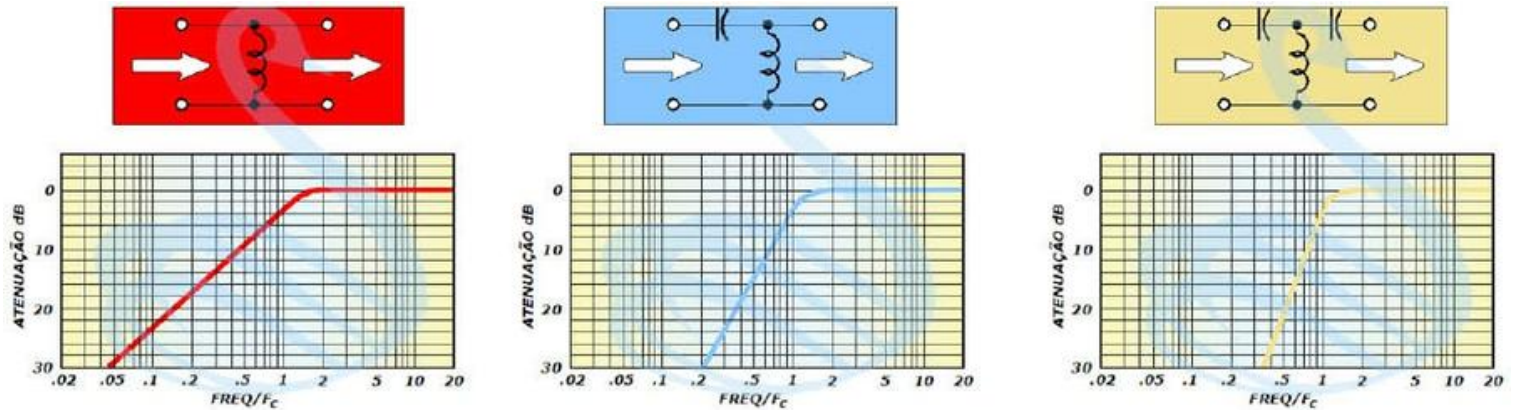


figura 4.97 característica de transmissão dos filtros passa altas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As mesmas características de impedância dos indutores e capacitores que vimos antes, permitem

constru circuitos que se comportm de modo inverso em relação aos filtros passa baixas.

Portanto, na parte mais baixa do espectro eles não permitem a passagem dos sinais. A partir de um certo ponto no espectro a atenuação vai sendo progressivamente reduzida, até que a partir de uma outra frequência, mais elevada, o circuito não oferece mais qualquer oposição à passagem dos sinais CA. Então, as frequências passam livremente pelos circuitos.

A figura 4.97 mostra três das muitas configurações possíveis desse tipo de circuito, denominado filtro passa altas. As características de transmissão de cada filtro aparecem na figura abaixo de cada um deles.

filtros passa bandas

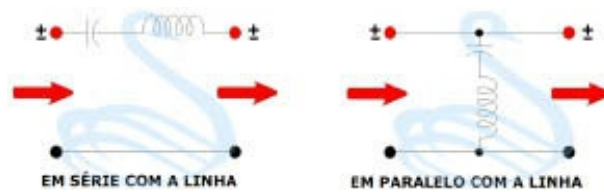


figura 4.98 circuito ressonante série acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Considere agora o circuito da figura 4.98. Ele é chamado circuito ressonante série.

Do lado esquerdo da figura ele está em série com a linha e, na parte direita, em paralelo com ela.

O circuito é chamado ressonante porquê de fato é caracterizado por uma frequência de ressonância. Essa frequência pode ser calculada por

$$F_R = \frac{159}{\sqrt{LC}} \quad (4.15)$$

onde

F_R é a frequência de ressonância em Hertz L é a indutância do indutor em Henries, e C é a capacitância do capacitor em microFarads (μF) A impedância de qualquer circuito ressonante varia com a frequência.

No circuito série a impedância atinge seu valor mínimo na frequência de ressonância.

Importante lembrar que o valor aumenta progressivamente à medida que as frequências se afastam da de ressonância.

Logo, o circuito permite a passagem de uma banda de frequências em torno da frequência de ressonância, rejeitando todas as demais frequências.

Portanto, os circuitos da figura 4.98, que são apenas duas dentre várias configurações possíveis de circuito ressonante série, são filtros passa bandas.

A característica típica de transmissão de um filtro passa bandas convencional é ilustrada na figura 4.99.

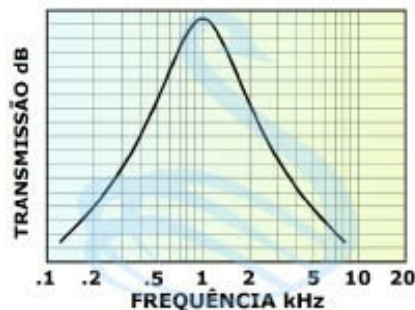


figura 4.99 característica de transmissão dos filtros passa bandas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

A figura 4.100 nos mostra um circuito ressonante paralelo.

Do lado esquerdo da figura ele está em série com a linha e, na parte direita, está em paralelo com ela.

Como este circuito também é caracterizado por uma frequência de ressonância, é um circuito da classe ressonante.

Calculada pela mesma expressão 4.15.

No circuito paralelo a impedância atinge seu valor máximo na frequência de ressonância.

Então, a impedância passa a diminuir progressivamente à medida que as frequências se afastam da frequência de ressonância.

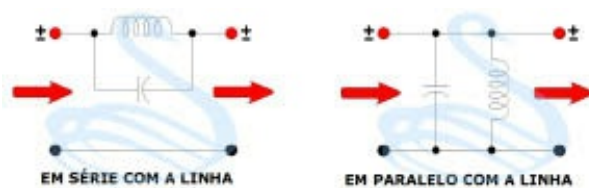


figura 4.100 circuito ressonante paralelo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

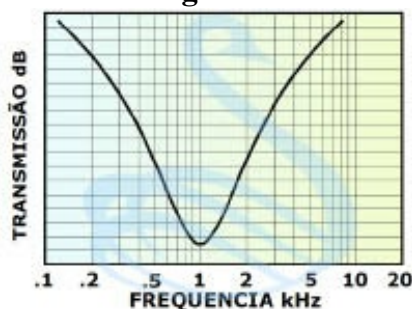


figura 4.101 característica de transmissão dos filtros rejeita bandas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

Logo, o circuito rejeita a passagem de uma banda de frequências em torno da frequência de ressonância, permitindo a passagem de todas as demais frequências.

Portanto, os circuitos da figura 4.100, são apenas duas das várias configurações possíveis de circuito ressonante paralelo, no caso filtros rejeita bandas.

A característica de transmissão dos filtros rejeita bandas é ilustrada na figura 4.101.

filtros passa tudo Os filtros passa tudo são os que permitem a passagem de todas as frequências, de zero ao infinito, sem impor qualquer atenuação em quaisquer segmentos do espectro. A rigor, não há filtragem no sentido que vimos anteriormente. E por isso mesmo é grande a curiosidade em torno desse filtro. Afinal, para que ele serve?

Adiante veremos que, além de filtrar frequências, os filtros introduzem atraso nos sinais, e também alteram-lhes as fases. Mas nem se preocupe ainda como isso é feito. Apenas saiba que os filtros passa tudo são usados para alterar tempos e/ou fases dos sinais.

4.4.1.3 Shelving e Peak/Dip shelving

Vimos como funcionam os filtros passa baixas e passa altas.

Veja agora o circuito da figura 4.102. Trata-se de um circuito que combina um filtro passa baixas (o indutor) com um passa altas (o capacitor). O que esse circuito apresenta de novidade em relação aos filtros que vimos anteriormente é que ele possui dois potenciômetros.

O valor dos componentes é tal que, em suas posições centrais, os potenciômetros anulam a ação dos filtros.

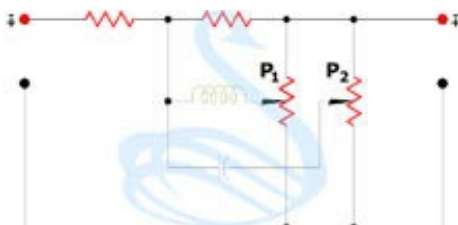


figura 4.102 circuito com filtros passa baixas e passa altas, variáveis acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

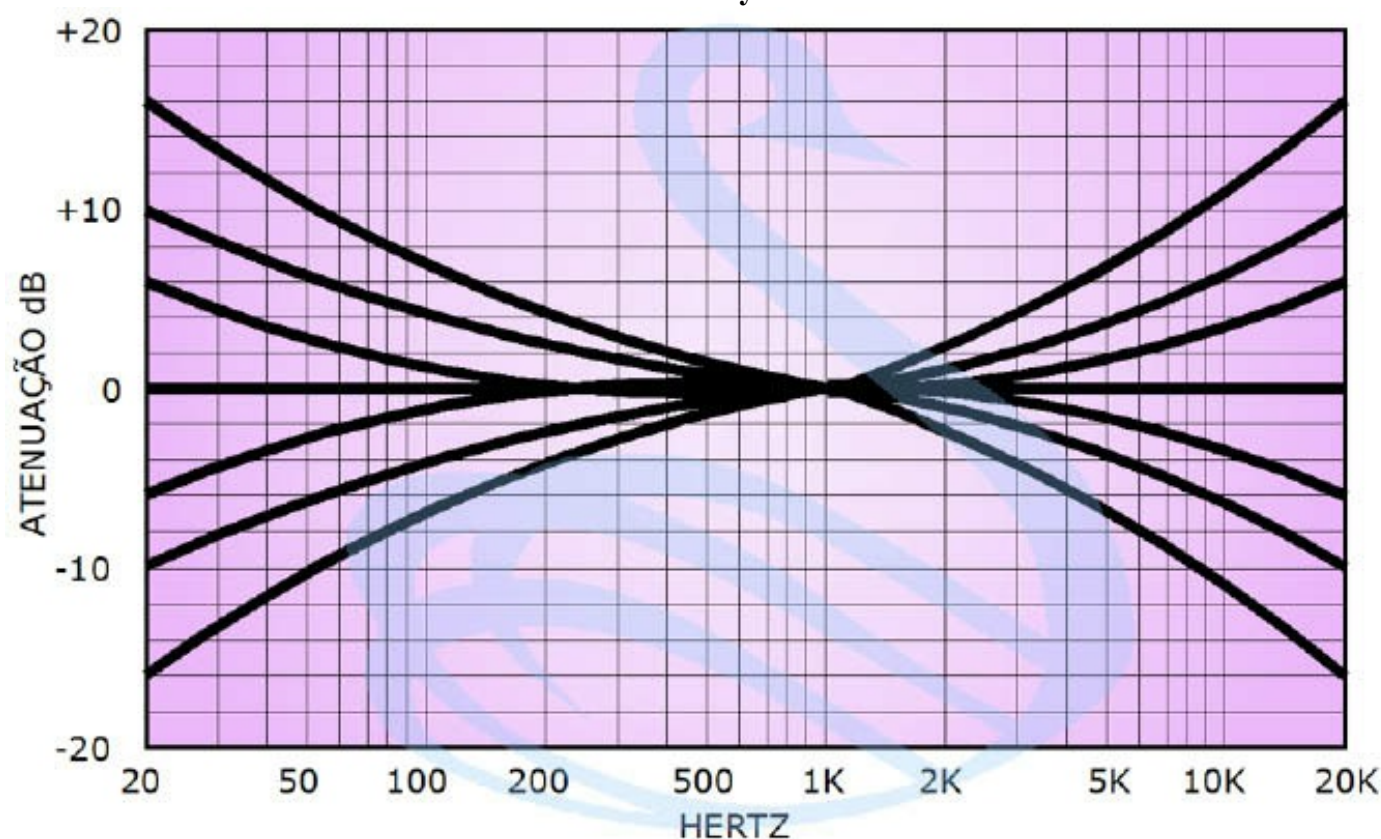


figura 4.103 característica de transmissão do circuito da figura 4.102 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando o potenciômetro ao qual chega o indutor é levado para sua posição superior, o filtro atua no sentido de reforçar as baixas frequências, e quando ele é levado para sua posição inferior, as baixas frequências são atenuadas. O mesmo acontece com as altas frequências quando o outro potenciômetro é movimentado.

A característica de transmissão desse circuito é o que nos mostra a figura 4.103.

Considere agora o circuito da figura 4.104.

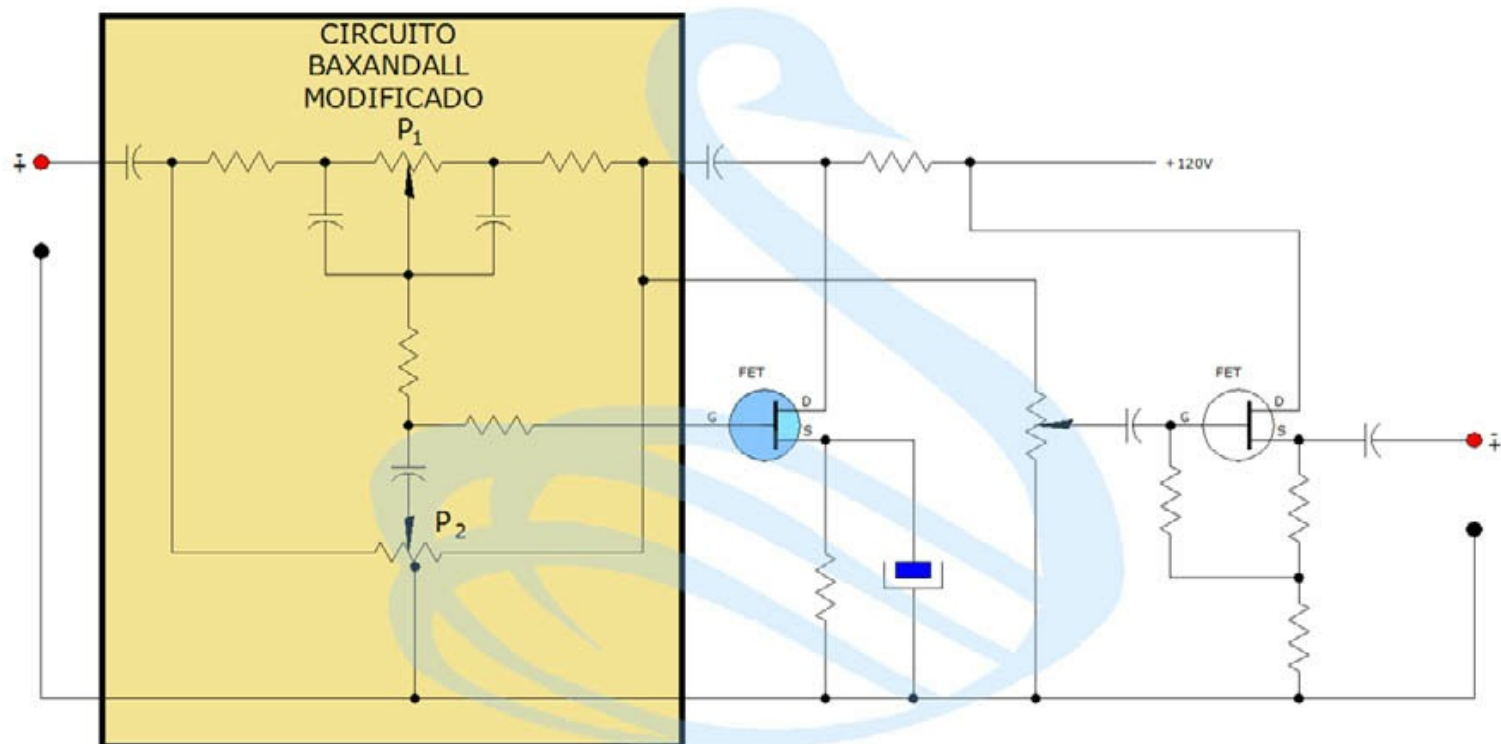


figura 4.104 circuito de controle de tom Baxandall acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne E não desanime se você não tem conhecimentos de eletrônica. Isso agora é o que menos importa.

O circuito da figura foi adaptado para que pudesse operar com transistores. Isto porque o circuito original, proposto por P. J. Baxandall, foi imaginado para trabalhar com válvulas eletrônicas.

A proposta de Baxandall foi feita num memorável artigo escrito na revista Wireless World. Mas com válvulas ou transistores, seu princípio de funcionamento é o mesmo. Não precisamos entrar nos detalhes de como funciona o circuito, por sinal bastante simples. Ele é composto apenas de 2 potenciômetros, 3 resistores e 3 capacitores.

Como no circuito anterior, quando os potenciômetros P_1 e P_2 estão em suas posições centrais, a resposta de frequência do circuito não é alterada. Quanto mais se move P_1 para a esquerda, mais as baixas frequências são reforçadas.

Inversamente, quanto mais o potenciômetro é movido para a direita, mais as baixas frequências são atenuadas.

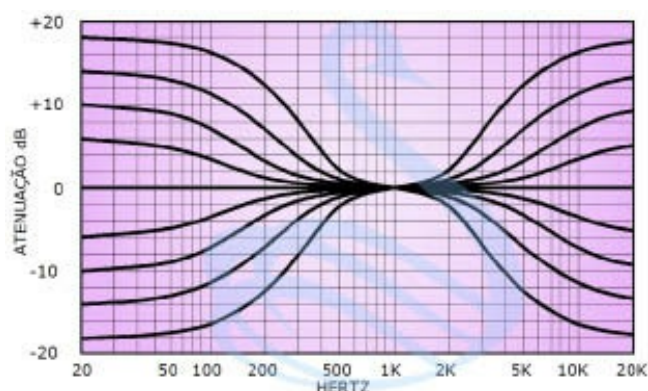


figura 4.105 características de transmissão do circuito de controle tonal Baxandall da figura 4.104 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Do mesmo modo, quanto mais se move P_2 para a esquerda, mais as altas frequências são reforçadas. E inversamente, quanto mais o potenciômetro é movido para a direita, mais as altas frequências são atenuadas. Com os valores típicos para os componentes

indicados na figura, e com o potenciômetro P_1 em suas posições extremas, o reforço e a atenuação máximos são de $\pm 18,0$ dB em 25 Hz, com relação a 1 kHz. As posições extremas de P_2 levam a reforço e atenuação de $\pm 16,0$ dB em 10 kHz, figura também referenciada a 1 kHz.

A curva do circuito de controle tonal da figura 4.104, até hoje muito utilizado em equipamentos domésticos de áudio, é como mostra a figura 4.105.

Circuitos variáveis que produzem curvas como as da figura 4.105 são chamados filtros shelving. Seu estudo é muito importante para a análise da equalização.

peak/dip

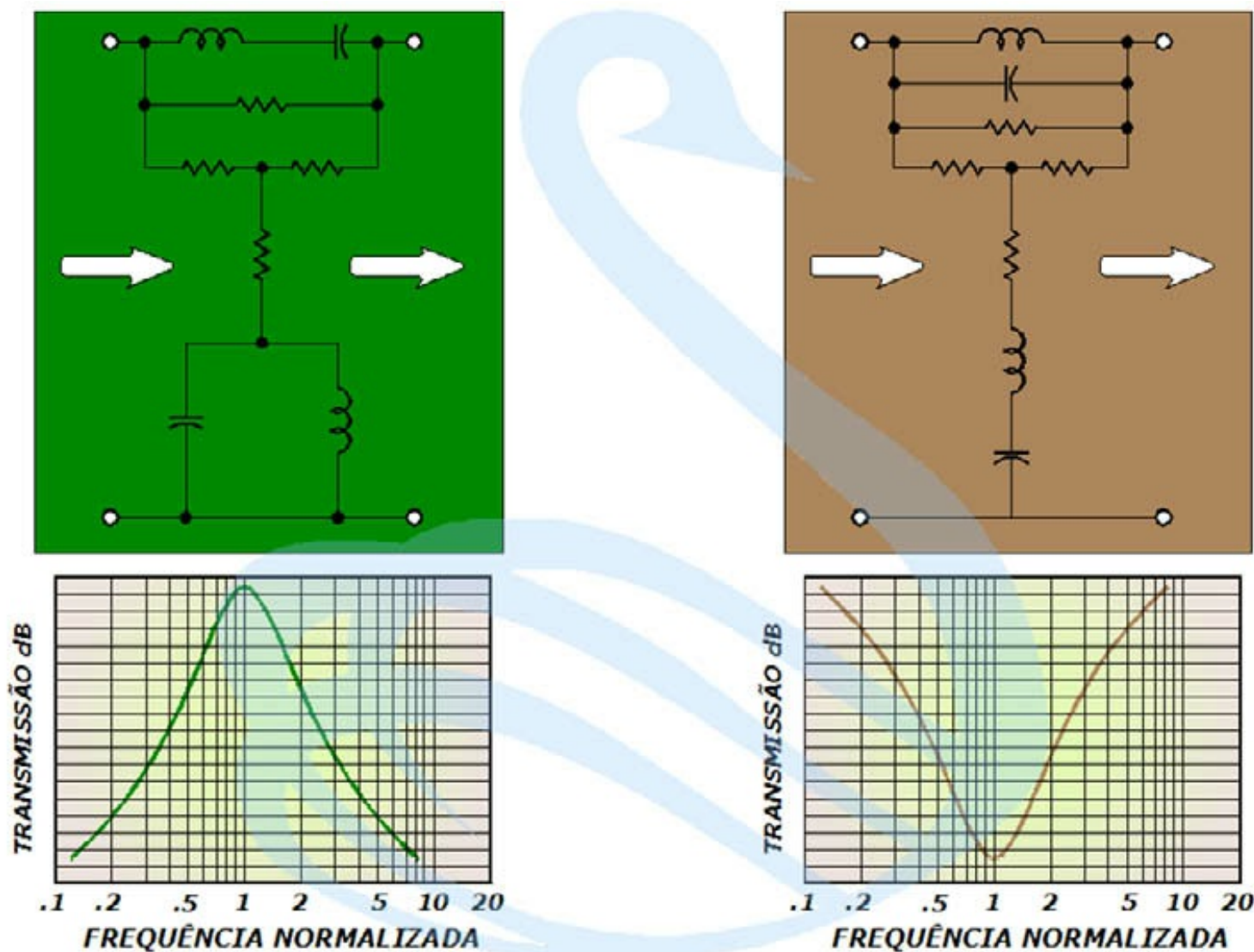


figura 4.106 circuitos de filtros ressonantes dos tipos peak e dip e correspondentes características de transmissão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vejamos agora os dois circuitos da figura 4.106, com suas características de transmissão.

Do lado esquerdo da figura temos uma nova configuração de filtro passa bandas, e abaixo dele, sua característica de transmissão. Esse tipo de filtro é denominado filtro ressonante do tipo peak.

Do lado direito da figura está uma das muitas configurações de filtro rejeita bandas. Abaixo dele, sua característica de transmissão. O circuito é chamado filtro ressonante do tipo dip.

Os valores dos componentes destes dois filtros podem ser calculados para que as

respectivas frequências de ressonância resultem quaisquer particulares valores desejados.

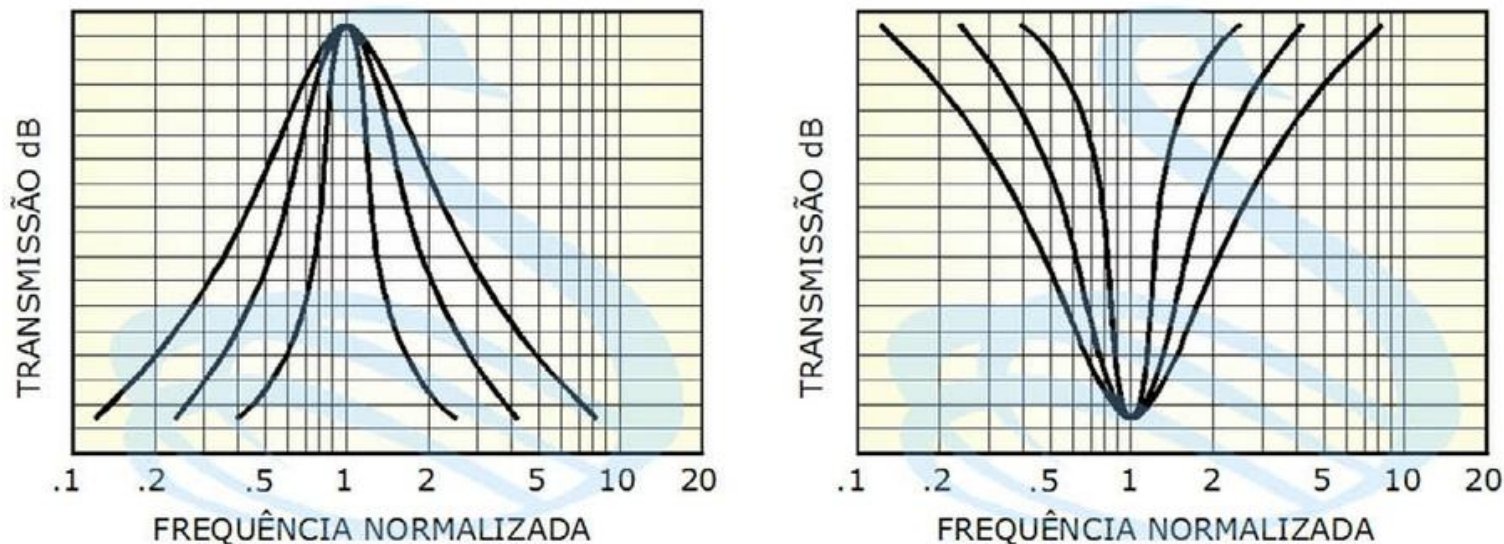


figura 4.107 diferentes características de transmissão dos filtros peak e dip acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os termos peak (pico) e dip (vale) devem-se às características de transmissão dos filtros.

Os valores dos componentes dos filtros peak e dip podem ser dimensionados para que as características de transmissão assumam formas diferentes, como ilustra a figura 4.107.

4.4.1.4 Reforço e Atenuação Acabamos de ver que os filtros passa baixas, passa altas, passa bandas e rejeita bandas apenas atenuam sinais. Vimos também que o circuito Baxandall tanto pode atenuar quanto reforçar sinais.

Entretanto, com o advento dos circuitos integrados ficou relativamente fácil projetar filtros capazes de se comportar como peak ou dip.

Isto é, que possam tanto impor atenuação quanto reforço aos sinais, dependendo apenas de como ajustemos seus controles.

Esses são os filtros utilizados na maioria dos equalizadores gráficos disponíveis no mercado.

4.4.1.5 Parâmetros dos Filtros frequências de corte

Frequência de corte de um filtro é aquela na qual a atenuação é 3,0 dB em relação ao nível nominal do dispositivo.

Para um filtro tipo shelving, há apenas uma frequência de corte, também chamada frequência característica do filtro.

Para um filtro passa bandas, há sempre duas frequências de corte, ou frequências características.

A figura 4.108 mostra as frequências de corte para os dois tipos e filtros.

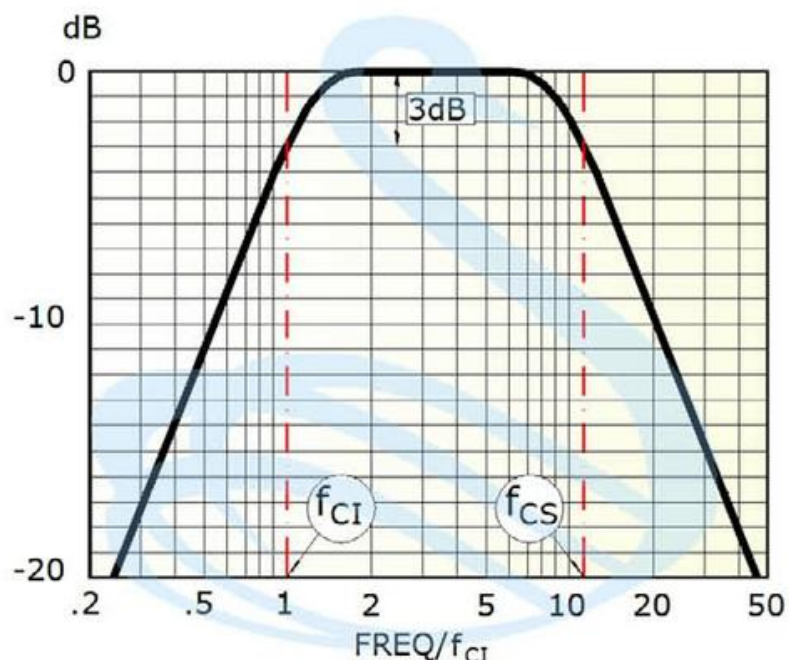
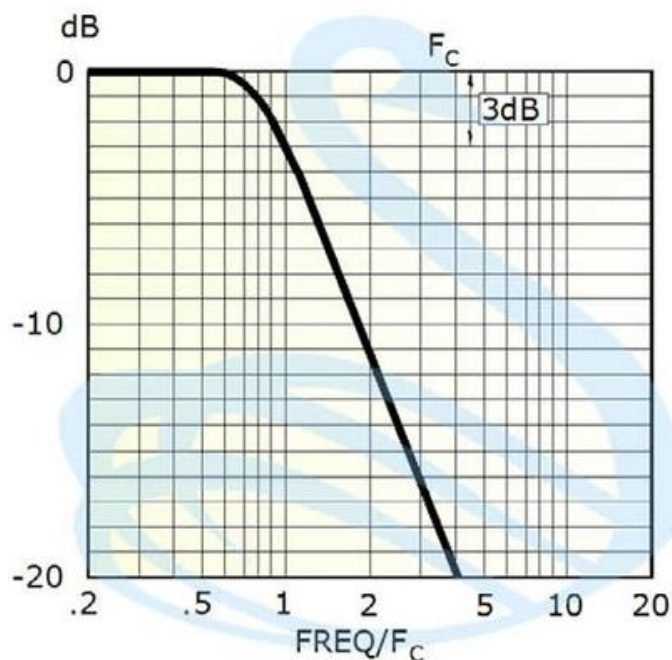


figura 4.108 frequências de corte dos filtros shelving e passa bandas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne De acordo com essa mesma definição, as frequências dos filtros rejeita bandas são como mostra a figura 4.109.

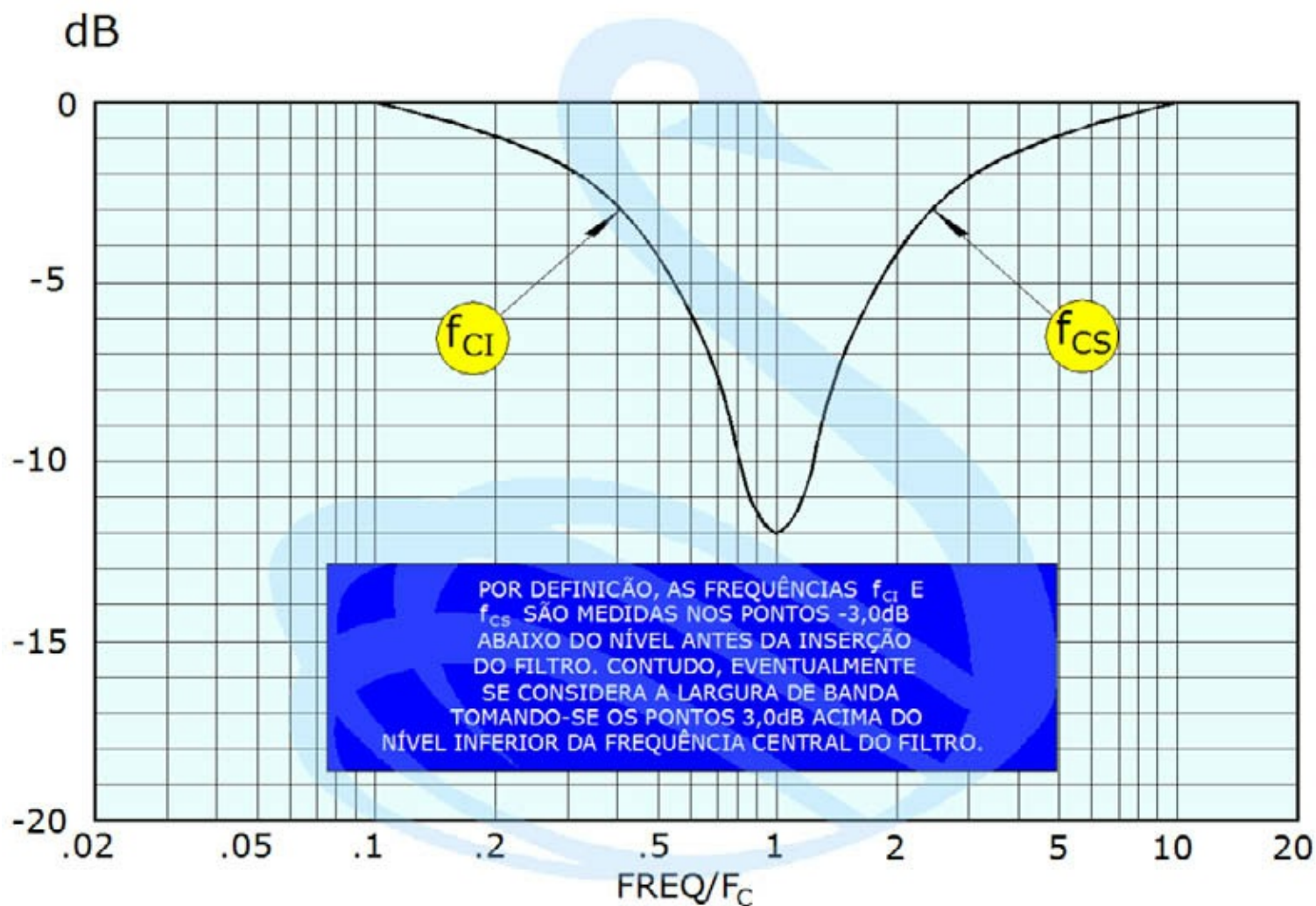


figura 4.109 frequências de corte dos filtros rejeita bandas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Contudo, há autores que preferem considerar como frequências de corte dos filtros rejeita bandas aquelas que estão 3,0 dB acima do ponto com maior atenuação na curva de transmissão do filtro.

Por convenção, denominam-se f_{ai} e f_{as} as frequências de corte dos filtros passa bandas ou rejeita bandas, respectivamente para a frequência de corte inferior e para a frequência de corte

superior.

Naturalmente, f_{cs} é sempre mais elevada do que f_{ci} .

frequência central

Só se define frequência central para filtros ressonantes. Ela coincide exatamente com a frequência de ressonância do filtro.

O termo frequência central procede porque esta frequência é a média geométrica das duas frequências de corte do filtro.

banda passante

Banda passante de um filtro é o segmento do espectro de frequências que o dispositivo permite passar com atenuação inferior a 3,0 dB. O conceito é aplicável tanto a filtros shelving quanto a filtros ressonantes. No caso dos filtros passa baixas a banda passante inicia com a frequência zero. E para filtros passa altas ela se estende ao infinito.

largura de banda

Largura de banda é a diferença entre a frequência de corte superior e a frequência de corte inferior de um filtro, e pode ser entendida como sendo a representação matemática da banda passante. Como ilustra a figura 4.110.

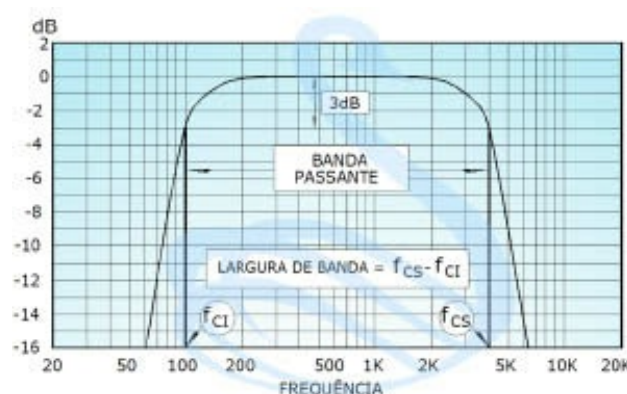


figura 4.110 banda passante, frequências de corte e largura de banda de um filtro passa bandas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

Dependendo do particular circuito escolhido e dos valores dos componentes, qualquer filtro sintonizado pode ser projetado para apresentar qualquer característica de transmissão desejada, observada as leis dos filtros passa bandas e rejeita bandas.

O que qualifica a particular forma de transmissão de cada filtro ressonante construído é o fator de seletividade, ou o Q do filtro.

Por ora, vamos entender que quanto mais fechada for a característica de transmissão do filtro, mais seletivo ele é, e portanto, maior o seu Q.

E já podemos concluir. Menor a largura de banda.

É por essa razão que filtros com Q muito elevado são chamados de filtros de banda estreita. Inversamente, filtros de banda larga são sempre caracterizados por Q muito reduzidos.

Tudo isso é aplicável aos filtros ressonantes, ou sintonizados. Voltaremos a este assunto

logo adiante neste capítulo.

Para os filtros shelving, a taxa de atenuação é medida em termos de atenuação por oitava, como vimos anteriormente.

grau de atenuação e de reforço Várias figuras anteriores evidenciam de forma inofismável como os filtros têm a capacidade de reforçar ou de atenuar as bandas de frequências.

Para filtros ressonantes, o grau de atenuação ou de reforço é sempre especificado em decibels referidos à frequência central.

Para filtros shelving, a atenuação e o reforço são especificados como quando discutimos o circuito Baxandall.

4.4.1.6 Filtros e sua Matemática Antes de prosseguirmos com os filtros, vamos recordar que oitava é o intervalo determinado por duas frequências que estão relacionadas pela razão 2:1. Exemplo: intervalo de 20 Hz a 40 Hz.

brincando com as oitavas e frações Para expressar matematicamente a relação entre as frequências que determinam uma oitava, podemos escrever

$$\text{FREQUÊNCIA SUPERIOR} = \text{FREQUÊNCIA INFERIOR} \times 2^1 \quad (4.16)$$

Da mesma forma, podemos expressar a relação entre as frequências que determinam uma meia oitava:

$$\text{FREQUÊNCIA SUPERIOR} = \text{FREQUÊNCIA INFERIOR} \times 2^{1/2} \quad (4.17)$$

calculando as frequências central e de corte Estabelecidas as frequências de corte superior (f_{CS}) e inferior (f_{CI}), define-se frequência central (f_C) como a média geométrica das duas frequências de corte, como na expressão 4.18.

$$f_C = \sqrt{f_{CS} \cdot f_{CI}} \quad (4.18)$$

Seja um filtro de oitava, com $f_{CS} = 1.000$ Hz, sabemos que $f_{CI} = 500$ Hz. E podemos calcular

$$f_C = \sqrt{1000 \times 500} = 707,11 \text{ Hz}$$

Para calcular as frequências de corte a partir da frequência central, podem ser empregadas

as seguintes expressões:

$$f_{CS} = 2^{0,5(\text{fração de oitava})} \times f_C \quad (4.19)$$

$$f_{CI} = 0,5^{0,5(\text{fração de oitava})} \times f_C \quad (4.20)$$

Exemplo: temos um filtro de 1/3 de oitava, cuja $f_C = 2.000$ Hz. Quais são suas frequências de corte?

$$f_{CS} = 2^{0,5(1/3)} \times 2000 = 2245 \text{ Hz}$$

$$f_{CI} = 0,5^{0,5(1/3)} \times 2000 = 1782 \text{ Hz}$$

$$\text{comprovação: } f_{CS} = 1782 \times 2^{1/3} = 2245 \text{ Hz}$$

calculando o Q

Agora que temos uma boa ideia do que é o Q de um filtro, devemos saber como calculá-lo. Sabendo que quanto mais elevado é o Q, menor é a largura da banda do filtro, não nos deve causar nenhuma admiração que para calculá-lo basta que determinemos a relação entre sua frequência central e a correspondente largura de banda. Ou seja

$$Q = \frac{f_C}{f_{CS} - f_{CI}} \quad (4.21)$$

Sejam três filtros com frequências centrais de 1000 Hz. O primeiro é de oitavas. Então, sua $f_{CS} = 1.414$ Hz, e sua $f_{CI} = 707$ Hz. Logo,

$$Q = \frac{1000}{1414 - 707} = 1,41$$

O segundo filtro é de 1/3 de oitavas. Portanto, sua $f_{CS} = 1.122$ Hz, e sua $f_{CI} = 891$ Hz. Segue que

$$Q = \frac{1000}{1122 - 891} = 4,93$$

Finalmente, o terceiro filtro é de 1/10 de oitavas. Com $f_{CS} = 1.036$ Hz, e $f_{CI} = 969$ Hz.

Portanto,

$$Q = \frac{1000}{1036 - 969} = 14,92$$

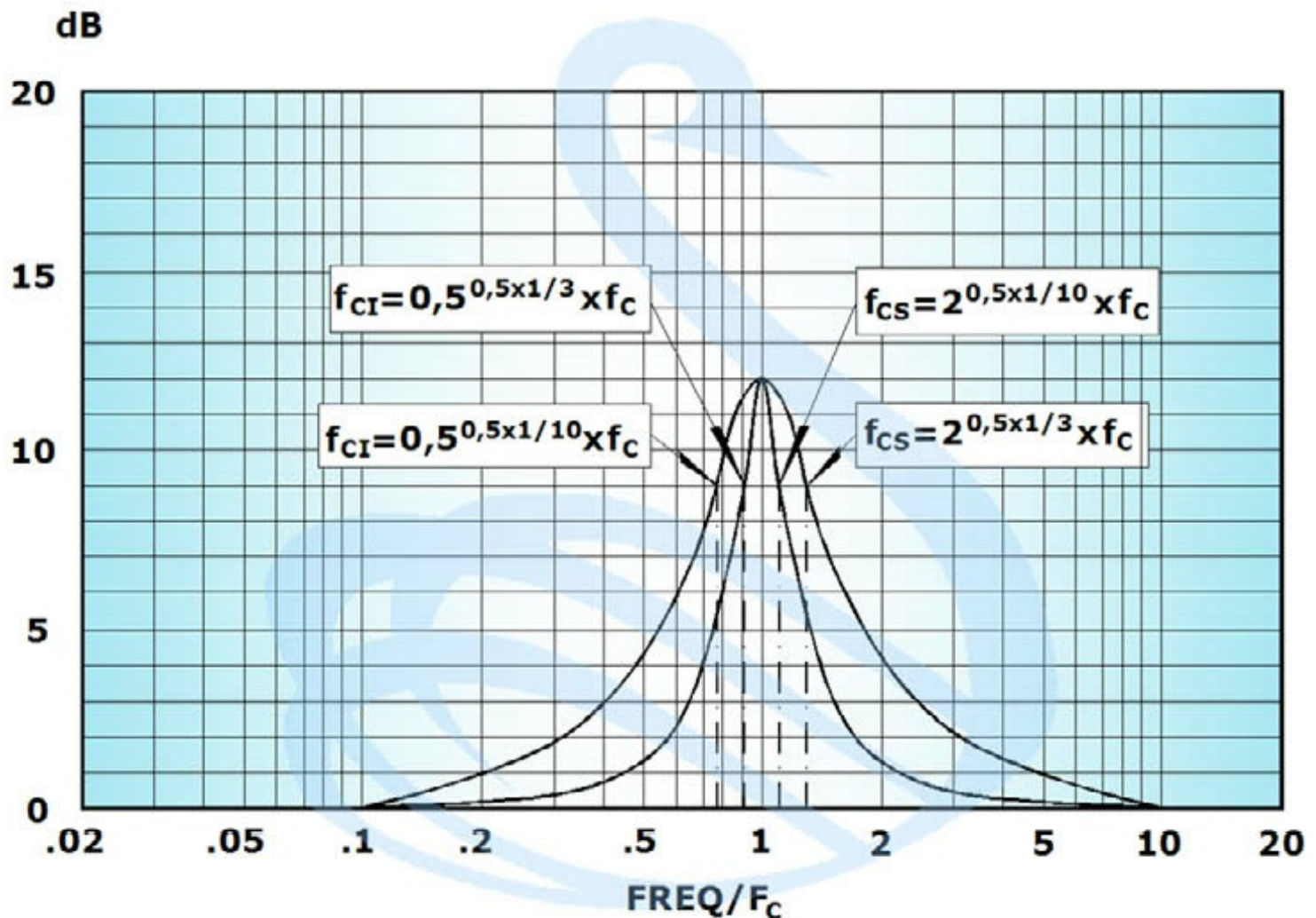


figura 4.111 características de transferência de filtros de 1 oitava, de 1/3 de oitava, e de 1/10 de oitava
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Assim, podemos comprovar que, quanto maior o Q do filtro, menor sua largura de banda. A propósito, filtros rejeita bandas de bandas extremamente estreitas são chamados filtros notch, e às vezes também de filtros dip.

A figura 4.111 mostra e compara as características de transmissão de dois filtros. Um de 1/3 de oitava e outro de 1/10 de oitava.

Como veremos a seguir, na maioria dos tipos de equalizadores não é possível controlar o Q dos filtros, o que já é possível em alguns equalizadores, a exemplo dos paramétricos.

4.4.1.7 Características de Desempenho dos Filtros resposta a transientes

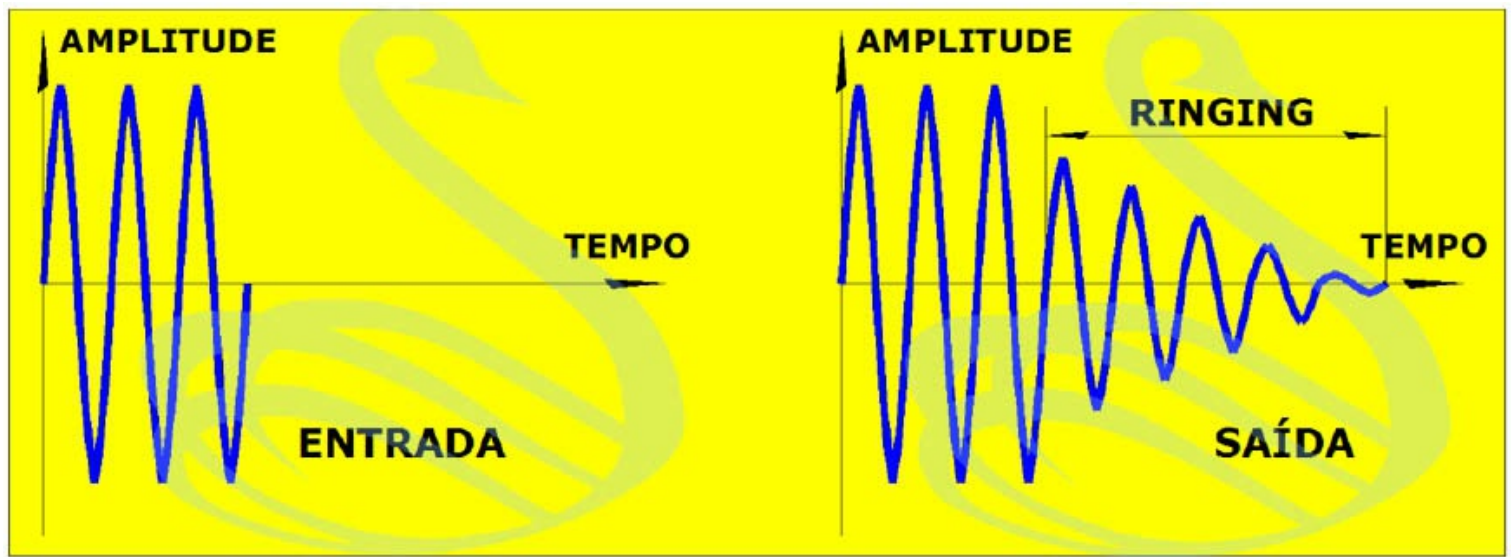


figura 4.112 ilustração do efeito ringing que um filtro de banda muito estreita apresenta ao processar um transiente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A resposta a transientes de um filtro é a descrição temporal de como os sinais que passam por esse filtro são tratados.

Filtros convencionais de banda muito estreita apresentam alguma dificuldade para acompanhar transientes. Porque seus componentes demoram um certo tempo para se carregar a partir do momento em que o sinal é aplicado, além de outro tempo adicional para se descarregar a partir do momento em que o sinal é dissipado. O resultado é uma oscilação amortecida, também conhecida como ringing. A figura 4.112 ilustra o efeito.

rotação de fase (phase shift)

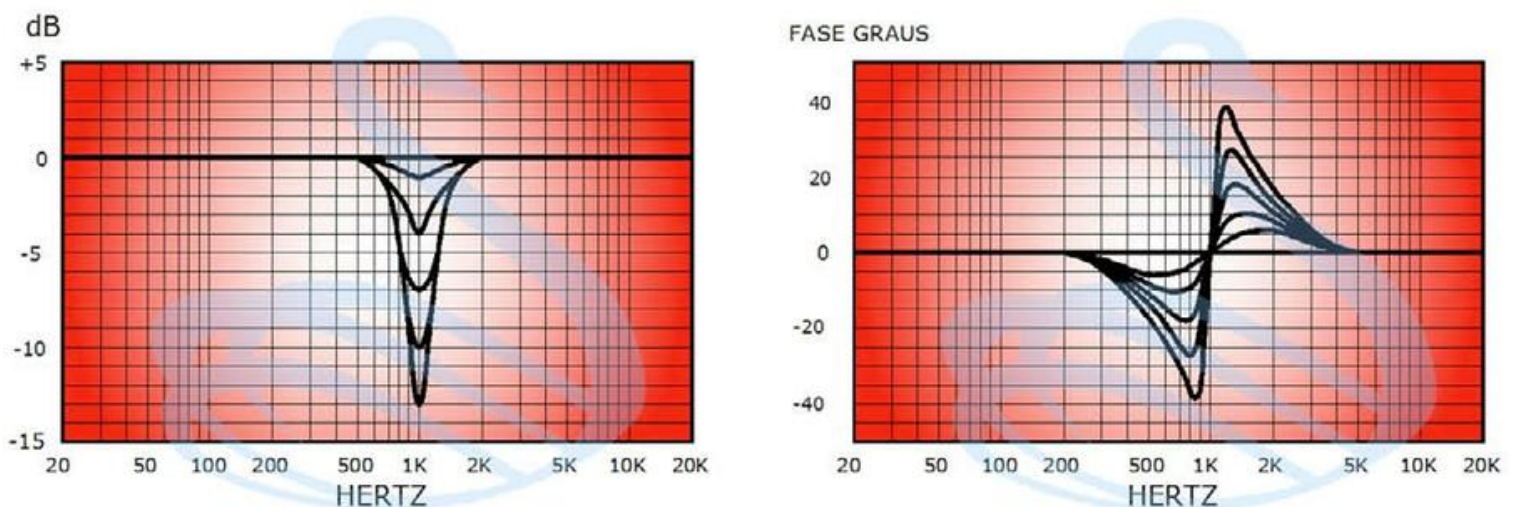


figura 4.113 rotação de fase de um filtro de qualidade acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Este é o nome do fenômeno dado à mudança de fase do sinal quando ele passa pelo filtro. O que se deve principalmente à existência de componentes reativos do circuito. A figura 4.113 mostra um caso típico de rotação de fase de um filtro de muita qualidade.

Note que quando o sinal é descendente, a fase assume valores negativos. Mas quando o sinal é ascendente a fase assume valores positivos. A severidade da rotação depende apenas do grau de atenuação ou de reforço.

atraso do envelope (envelope delay) Também conhecido como atraso de grupo (group delay) ou atraso de tempo (time delay), o atraso do envelope é o tempo finito que o envelope de um sinal leva para ser processado pelo filtro. Sua grandeza é proporcional à

taxa de rotação de fase do filtro. Quando o atraso de grupo não mantém o mesmo valor ao longo de todo o espectro de frequências, a distorção, chamada distorção de envelope, é inevitável.

4.4.1.8 Filtros de Fase Mínima Filtro de fase mínima é o nome dado a filtros convencionais projetados para que a rotação de fase seja a menor possível, ainda consistente com a manutenção das características de transferência do filtro. A figura 4.113 mostra as rotações de fase de um destes filtros.

4.4.1.9 Filtros de Q Constante e Suas Características

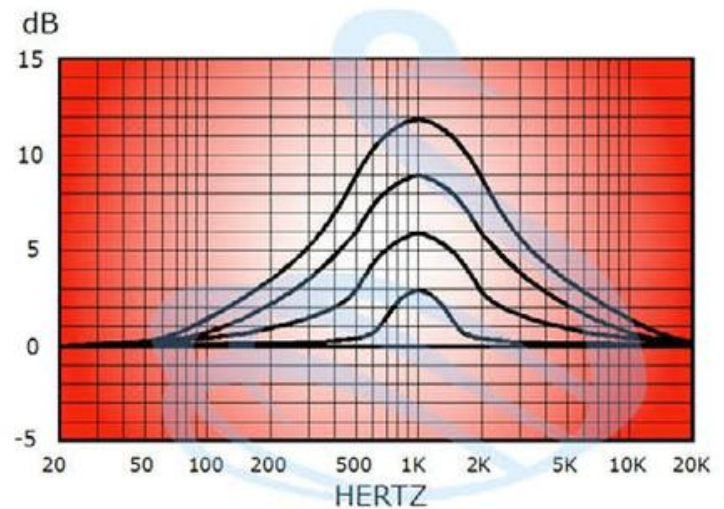
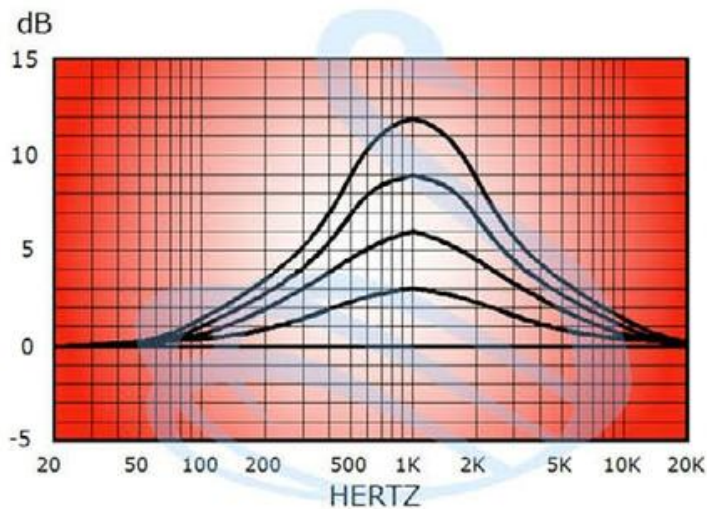


figura 4.114 características de transferência para filtros de Q não constante (esquerda) e de Q constante (direita) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Já vimos o que é o Q de um filtro. Sabemos como calculá-lo e já temos uma noção de como esse parâmetro é representado graficamente.

A figura 4.114 expõe as características de transferência de dois filtros diferentes, ambos de duas oitavas, porque a frequência central é 1.000 Hz, e as frequências de corte são 500 e 2.000 Hz.

No filtro da esquerda, a condição de filtro de duas oitavas só prevalece para a curva superior, já que o Q vai reduzindo cada vez que o reforço é menor.

Esse é um filtro de Q não constante.

No filtro da direita, o Q é incondicionalmente mantido para qualquer condição de utilização do filtro. O que é muito vantajoso quando se utiliza o filtro com pouca atenuação, ou pouco reforço, pois a seletividade é integralmente mantida sem afetar frequências muito afastadas da região em que estamos trabalhando.

4.4.1.10 Combinação de Filtros O que chamamos combinação de filtros é o efeito aditivo e previsível resultante da operação de filtros adjacentes. Essa combinação pode apresentar bons resultados ou não. O que vai depender das características dos filtros e dos espaçamentos de suas frequências centrais.

Vejam os três casos teóricos, todos representados na figura 4.115. Em todos os casos as frequências centrais dos filtros estão espaçadas em uma oitava.

Lembremos que quando somamos dois sinais iguais entre si, a soma de ambos resulta 3,0 dB acima de cada um deles. Na parte superior da figura, os Q s dos dois filtros são mais reduzidos do que deveriam. Com isso, as larguras de banda são maiores do que o desejável.

E as curvas dos dois filtros se cruzam num ponto 1,0 dB abaixo do ponto de máxima de qualquer dos dois filtros. Como consequência disso, a característica de transferência obtida por combinação da atuação dos filtros, representada na cor cinza, exibe um pico muito pronunciado na frequência de cruzamento das curvas. O que não é bom.

Na parte central da figura os Q s dos filtros são muito elevados, e as larguras de banda consideravelmente reduzidas.

O que faz com que as curvas se cruzem num ponto 6,0 dB abaixo do ponto de máxima de qualquer dos dois filtros. Desse modo, a característica de transferência da combinação apresenta um buraco enorme na frequência de cruzamento das curvas. O que é tão ruim quanto o caso anterior.

Finalmente, na parte inferior da figura os Q s dos filtros são adequados. E as larguras de banda também.

Desse modo, as curvas de ambos se cruzam num ponto 3,0 dB abaixo dos pontos de máxima dos filtros. E a característica de transferência da combinação mostra-se bastante plana. O que é o ideal.

Portanto, a combinação de filtros adjacentes exige que os Q s dos filtros e o espaçamento das frequências centrais sejam tais que as curvas de transferência dos filtros se cruzem em pontos 3,0 dB abaixo dos pontos de máxima de cada um dos filtros.

Para que essa condição seja mantida para quaisquer situações de atenuação e de reforço, é imperativo que os filtros sejam de Q constante.

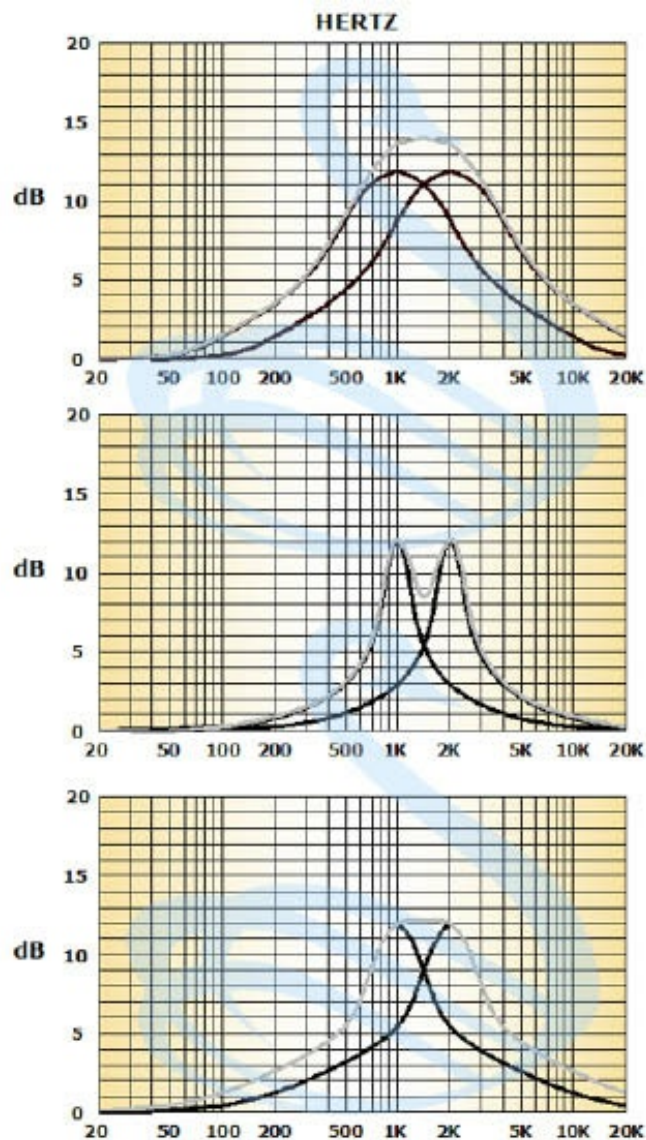


figura 4.115 combinação de filtros adjacentes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Entretanto, a condição ideal dos filtros adjacentes da parte inferior da figura 4.115 é puramente teórica.

Na prática, quando diversos filtros são dispostos de forma que suas frequências centrais ficam espaçadas sequencialmente, como num equalizador gráfico real, não há exatidões absolutas.

Por força de tolerâncias de componentes e de imperfeições construtivas, verificam-se incorreções na combinação dos filtros adjacentes. O que provoca ondulações nas curvas de transmissão combinadas.

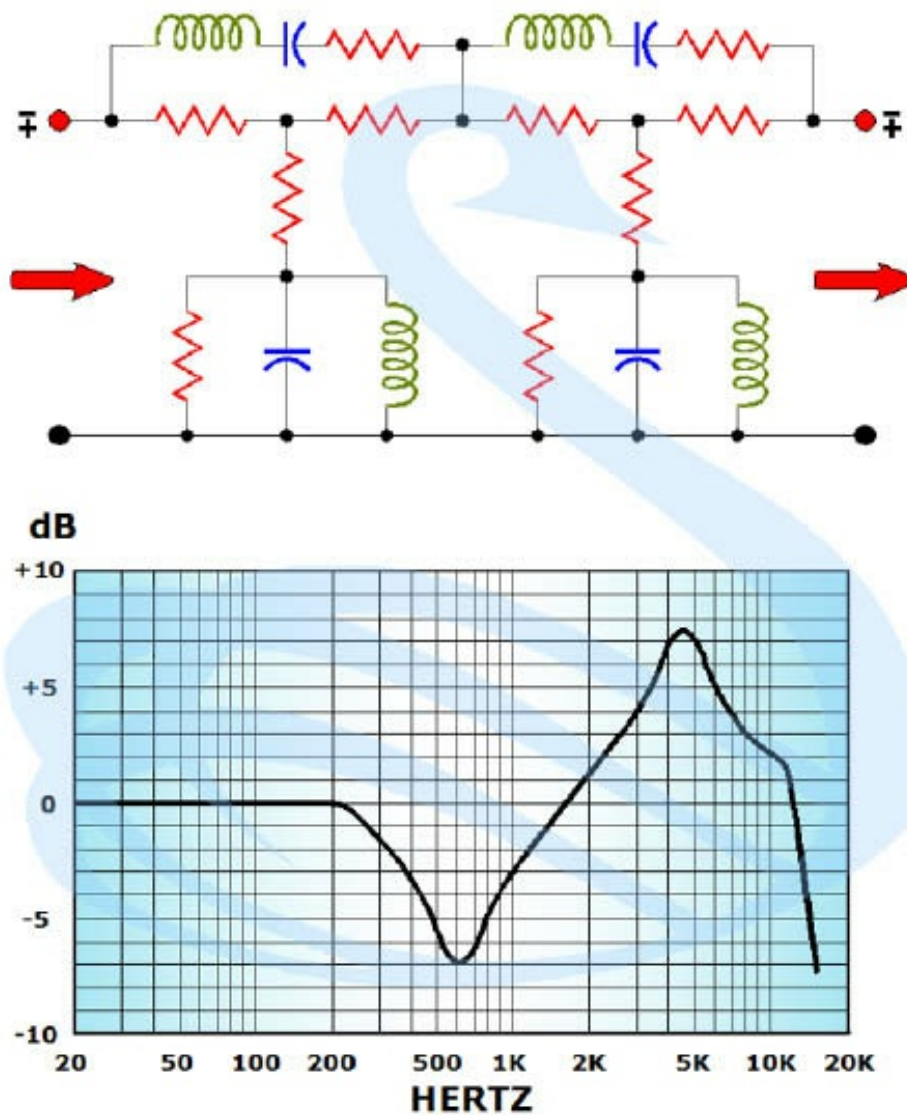


figura 4.116 circuito de filtros compostos, e correspondente característica de transmissão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ondulações de apenas 1,0 dB podem causar o efeito ringing em transientes, já a 20,0 dB antes do transiente atingir seu ponto máximo!

O que vimos até aqui é o que chamamos de combinação de filtros. Uma outra coisa, que não é exatamente o mesmo, são os filtros combinados. Ou filtros compostos. Para evitar confusões, vamos usar a terminologia filtros compostos.

Filtros compostos é o nome dado a uma ligação de dois ou mais filtros, ou seções deles, geralmente fixos, com o objetivo de se obter uma determinada característica de transmissão.

Exemplo disso é o circuito da figura 4.116, que mostra o circuito e a correspondente característica de transmissão.

4.4.1.11 Filtros Digitais Existem dois tipos principais de filtros digitais. Os não recursivos e os recursivos.

não recursivos

Os filtros não recursivos também são conhecidos como filtros FIR, para Finite Impulse Response, filtros transversais, filtros de média móvel e filtros de linha de atraso tapeada.

A figura 4.117 mostra um diagrama muito simplificado de um desses filtros.

Os filtros FIR se valem da Transformada de Fourier para alterar os sinais, e não ter que

trabalhar com eles em seus domínios de frequência.

E trabalham de fato no domínio do tempo. Portanto, a operação de um filtro FIR está baseada na tecnologia dos atrasos digitais.

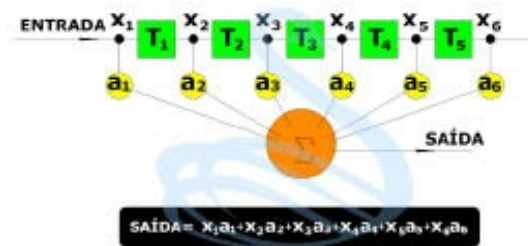


figura 4.117 esquema simplificado de um filtro digital tipo FIR

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os filtros FIR se valem da Transformada de Fourier para alterar os sinais, e não ter que trabalhar com eles em seus domínios de frequência. E trabalham de fato no domínio do tempo. Portanto, a operação de um filtro FIR está baseada na tecnologia dos atrasos digitais.

Os sinais são encaminhados para uma linha de atraso com saídas (taps) ponderadas, tomadas a intervalos regulares. Dos taps são retirados sinais com atrasos $T_1, T_2, T_3, \dots, T_N$, já ponderados.

Os sinais são somados a cada tap, de sorte que ao final todas as saídas são somadas eletronicamente, para dar origem à saída do filtro. Assim, a soma linear cria uma nova forma de onda na saída do filtro.

As características do filtro são governadas pelas amplitudes relativas de cada saída, de acordo com as respectivas ponderações, pelo tempo total de atraso, e pelos intervalos entre a saída de cada tap.

Como a filtragem é obtida por técnica de síntese, um único filtro FIR pode ser projetado para ter 30 bandas de frequência uniformemente distribuídas, com frequências centrais espaçadas de 1/3 de oitava, obedecendo aos padrões ISO. A precisão das combinações dos filtros adjacentes é extraordinária. Assim como as demais características e especificações do filtro.



figura 4.118 esquema simplificado de um filtro digital tipo IIR

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os filtros recursivos também são conhecidos como filtros IIR, para Infinite Impulse Response, filtros de onda digital, filtros ladder e filtros lattice.

A figura 4.118 mostra um diagrama simplificado de um filtro IIR.

Os filtros IIR atrasam os sinais, alteram seus níveis e suas fases, e reinjetam esses sinais processados na entrada do filtro. Dessa maneira, a saída dos filtro IIR também é uma soma de muitas amostras do sinal de entrada. O nome Infinite Impulse Filter deve-se ao fato de que, uma vez que os sinais entram no filtro, teoricamente eles circulariam indefinidamente pelo circuito, consideradas as sucessivas reinjeções. A estabilidade desses filtros não é seu ponto forte, de vez que eles dependem de atraso combinado com realimentação.

4.4.1.12 Considerações Gerais Sobre os Equalizadores Os equalizadores são efetivamente muito mais comuns em áudio do que geralmente imaginamos.

De fato, pré-amplificadores de cápsulas magnéticas de toca-discos usam equalizadores fixos reforçando as baixas frequências, que são gravadas nos discos com atenuação, e atenuando as altas frequências, que são gravadas com reforço.

Equalizadores fixos também estão presentes em circuitos de gravação e de reprodução dos decks de fita, nos circuitos de processamento de programa das emissoras de FM, nos sintonizadores de FM, e numa infinidade de outros itens.

Nesse sentido, equalizadores são circuitos compostos de componentes reativos, inseridos em circuitos mais complexos, com a finalidade de lhes alterar a resposta de frequência, seja para atenuar ou para reforçar segmentos específicos.

Os equalizadores mais usados atualmente são do tipo ativo, empregando transistores e circuitos integrados. Eles apresentam vantagens e desvantagens em relação aos passivos.

Vantagens: são pequenos e têm baixo custo.

Desvantagens: são mais ruidosos em altas frequências, apresentam menor faixa dinâmica e têm mais componentes sujeitos a falhas, sendo, portanto, menos confiáveis.

Equalizadores variáveis são aqueles nos quais o usuário pode controlar o grau de atenuação ou reforço imposto pelo filtro, e eventualmente outros parâmetros.

Duplo Controle Tonal

O duplo controle tonal, que pode reforçar ou atenuar graves e agudos, é uma das formas mais simples de equalizador. Sua resposta típica é a da figura 4.119.

Este equalizador básico é muito fácil de ser utilizado.

Difícilmente coloca seu usuário em encrencas, e apesar de ser muito restrito, pode apresentar resultados satisfatórios.

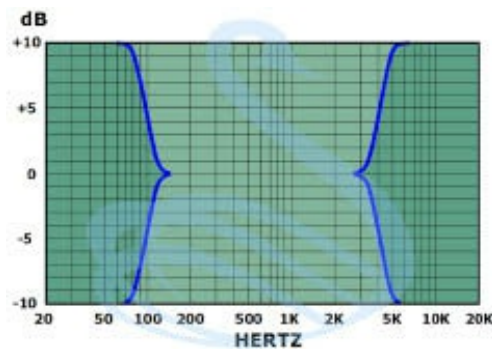


figura 4.119 resposta de frequência do duplo controle tonal acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
4.4.1.14 Triplo Controle Tonal

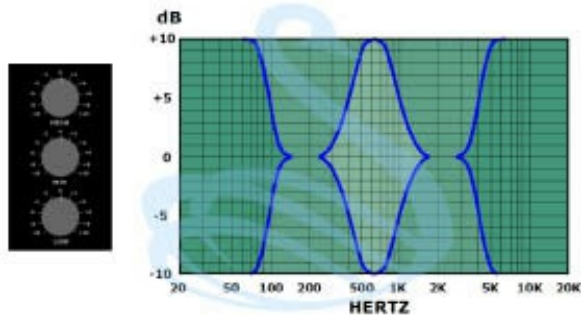


figura 4.120 equalizador tipo triplo controle tonal (A) leiaute do equalizador (esquerda) (B) resposta de frequência do equalizador (direita) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outro equalizador, também na categoria dos equalizadores básicos, é o de triplo controle tonal.

Trata-se apenas do controle tonal anterior ao qual é acrescentado um filtro adicional, destinado a reforçar ou atenuar as médias frequências. Por isso mesmo, esse terceiro filtro muitas vezes é chamado de controle de presença.

Esse tipo de equalizador, batizado de equalizador de três bandas, tem seu leiaute como na figura 4.120A e sua resposta de frequência como na figura 4.120B.

Em razão da grande eficácia desse circuito, combinada com uma extraordinária facilidade de uso, uma grande quantidade de mixers se vale desse arranjo para equipar cada um de seus canais de entrada.

Há uma grande variedade de modelos diferentes de triplos controles tonais, especialmente quanto às frequências de corte dos filtros.

A resposta do terceiro filtro é representada pelas curvas centrais da figura 4.120B.

4.4.1.15 Duplo Controle Tonal com Seleção de Frequências

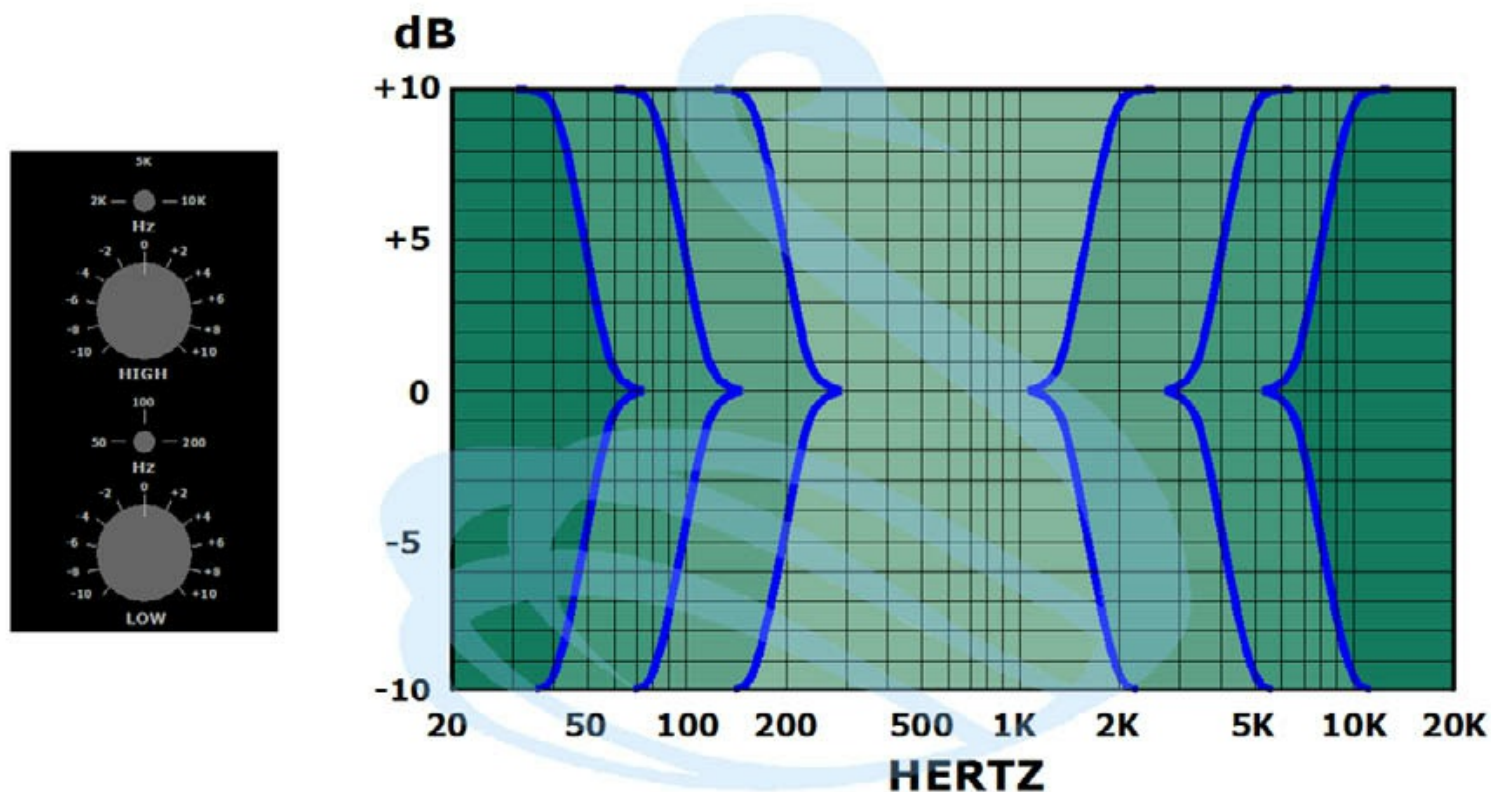


figura 4.121 equalizador de duplo controle tonal com seleção de frequências (A) leiaute frontal do equalizador (esquerda) (B) resposta de frequência do equalizador (direita) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os dois equalizadores vistos anteriormente podem ser feitos mais sofisticados se para uma ou mais bandas se acrescenta a possibilidade do usuário optar por frequências centrais alternativas, ao invés de ter que se resignar às frequências fixas e pré estabelecidas.

Para tanto é preciso que existam seletores específicos, através dos quais os usuários escolhem suas opções dependendo das necessidades de cada caso.

Como os preços aumentam consideravelmente para seletores com mais do que apenas duas ou três opções, essas são as quantidades típicas de alternativas oferecidas na maioria dos equalizadores que oferecem esse recurso. A figura 4.121A mostra o leiaute frontal de um equalizador de duplo controle com seleção de frequências, e a figura 4.121B sua resposta típica.

4.4.1.16 Triplo Controle Tonal com Seleção de Frequências A figura 4.122A mostra o leiaute de um equalizador de triplo controle tonal com seleção de frequências para a banda central, e a figura 4.122B sua resposta típica. Equalizadores de três bandas com seleção de frequências de banda central são muito usados em consoles de mixagem, e geralmente recebem o nome de equalizadores paramétricos, o que é um equívoco.

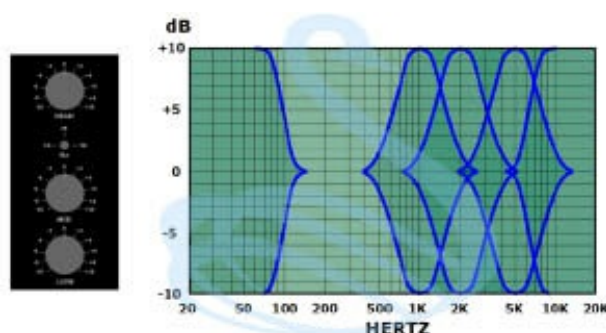


figura 4.122 equalizador de triplo controle tonal com seleção de frequências (A) leiaute frontal do equalizador (esquerda) (B) resposta de frequência do equalizador (direita) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veremos adiante que para poder ser qualificado como paramétrico, os equalizadores devem possibilitar o controle de mais parâmetros do que apenas estes.

4.4.1.17 Equalizadores de Quatro Bandas Os equalizadores de quatro bandas são construídos sem seleção de frequências, com seleção parcial de frequências, e também com seleção de frequências para as quatro bandas. O leiaute típico de um destes é o que mostra a figura 4.123A, enquanto a figura 4.123B exibe sua resposta.

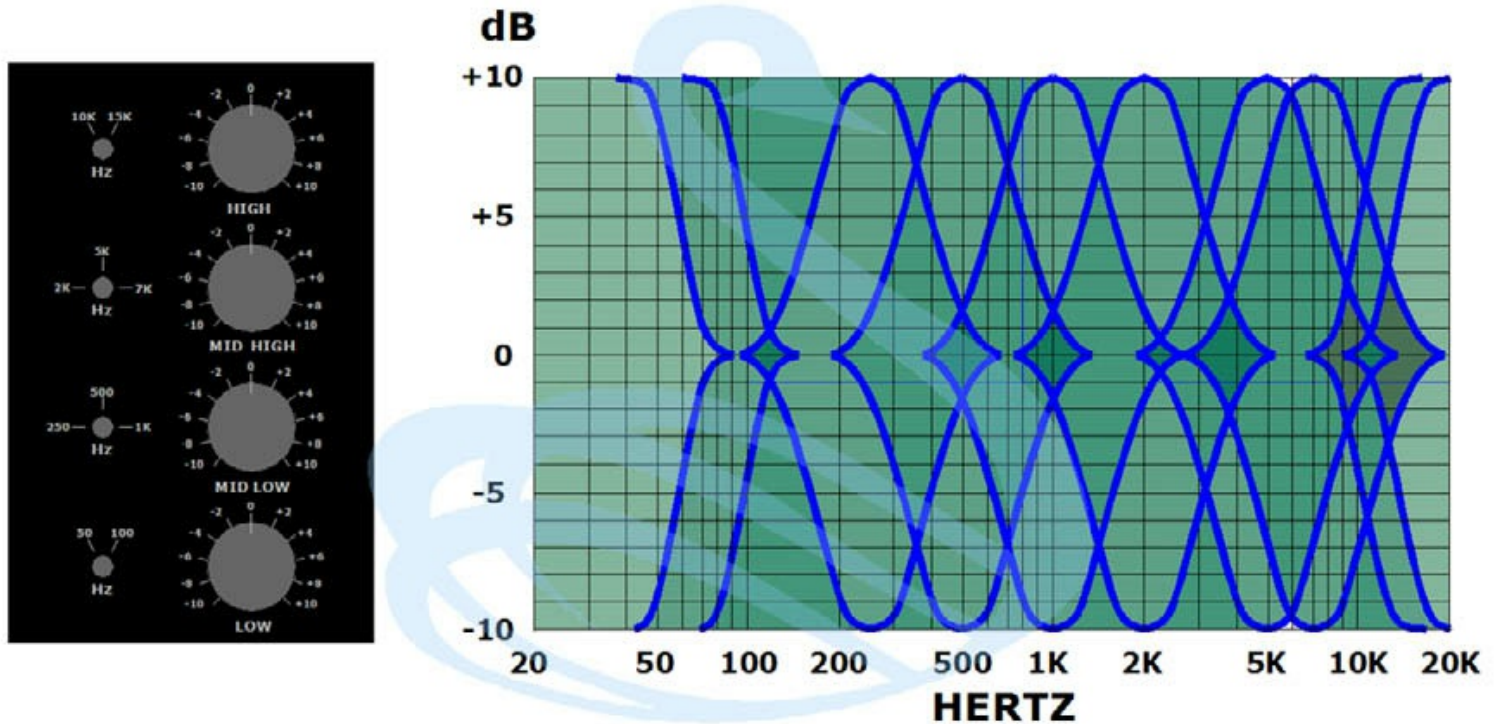


figura 4.123 equalizador de quatro bandas (A) leiaute frontal do equalizador (esquerda) (B) resposta de frequência do equalizador (direita) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 4.4.1.18 Equalizadores Gráficos Todos os equalizadores vistos até aqui permitem o controle simultâneo de duas, três ou quatro bandas.

Uns com muito maior flexibilidade do que outros.

Porém, muitas vezes é desejável, e até necessário, poder controlar simultaneamente mais bandas. É aí que entram os equalizadores gráficos.

O nome equalizador gráfico foi particularmente escolhido porque se diz que sua resposta de frequências é a reprodução elétrica da forma gráfica assumida por seus controles frontais, invariavelmente do tipo deslizante.

Como na figura 4.124.

equalizadores gráficos de oitava

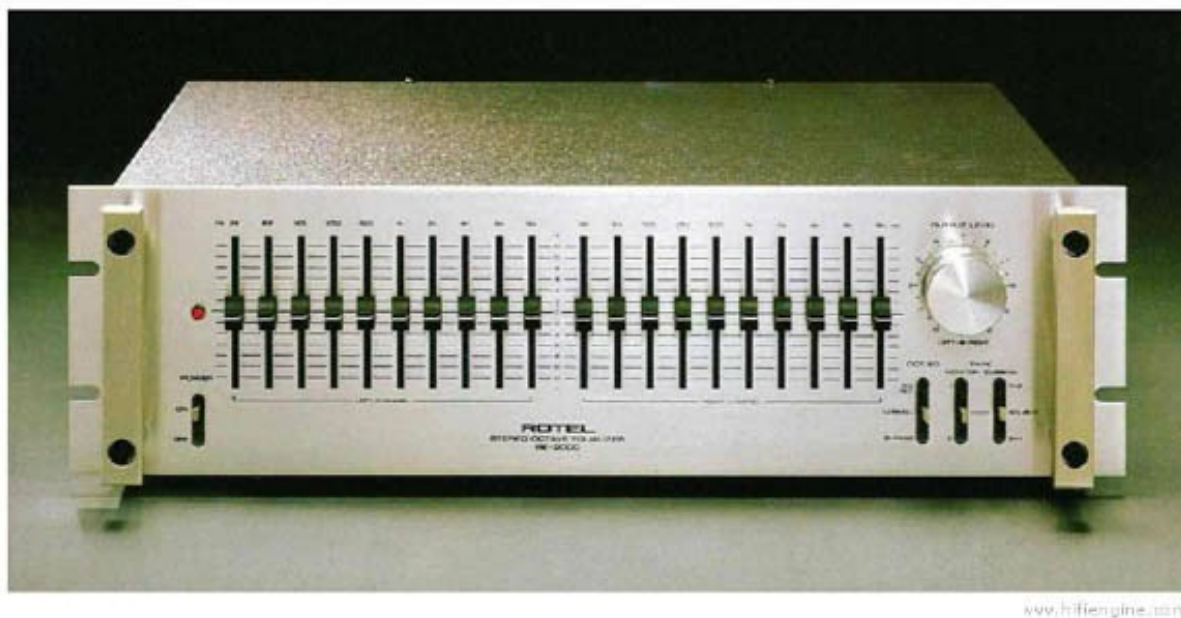


figura 4.124 equalizador de gráfico de oitavas Rotel RE-2000

cortesia Rotel of America A figura 4.124 mostra um dos mais simples equalizadores gráficos, que é o de oitavas. Eles possuem 10 ou 11 controles, capazes de reforçar ou atenuar individual, mas simultaneamente, 10 ou 11 bandas de frequências, cujas frequências centrais são: 16, 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 e 16.000 Hz

A figura 4.125 mostra as características de transmissão dos filtros de um desses equalizadores.

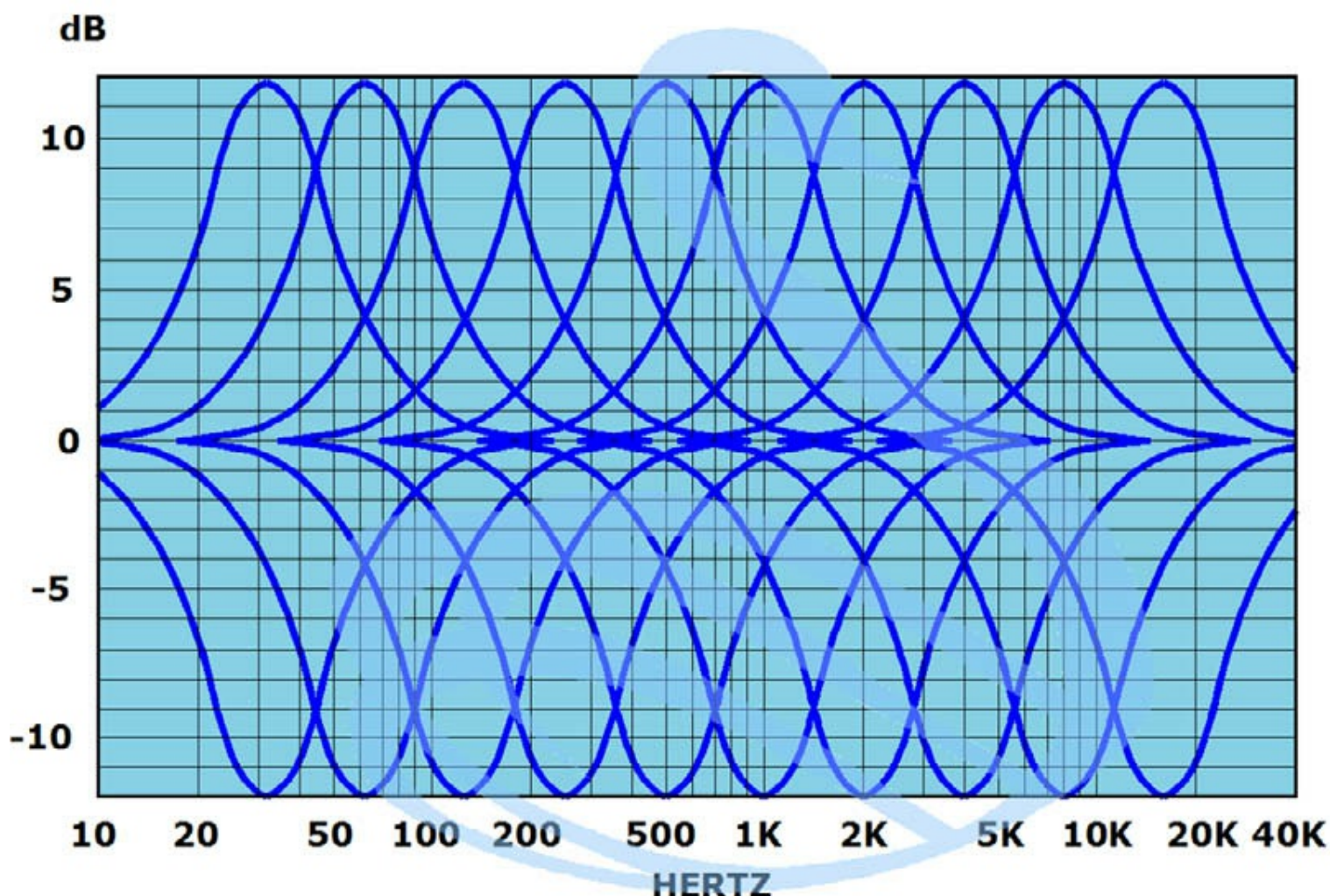


figura 4.125 características de transmissão dos filtros de um equalizador gráfico de oitavas acervo do

engº Luiz Fernando O. Cysne equalizadores gráficos de 2/3 de oitava Equalizadores gráficos mais sofisticados do que os de oitava são os de 1/2 oitava, que trabalham com 21 bandas com frequências centrais de 16, 22.4, 31.5, 45, 63, 90, 125, 180, 250, 355, 500, 710, 1000, 1400, 2000, 2800, 4000, 5600, 8000, 11200 e 16000 Hz

Naturalmente, estes são bem mais flexíveis do que os equalizadores gráficos de oitava.

equalizadores gráficos de 1/3 de oitava Finalmente, entre os equalizadores gráficos, o mais sofisticado produzido em série é o de resposta de 1/3 de oitava.

Eles trabalham com 31 bandas, com frequências centrais de 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10.000, 12500 e 16000 Hz.

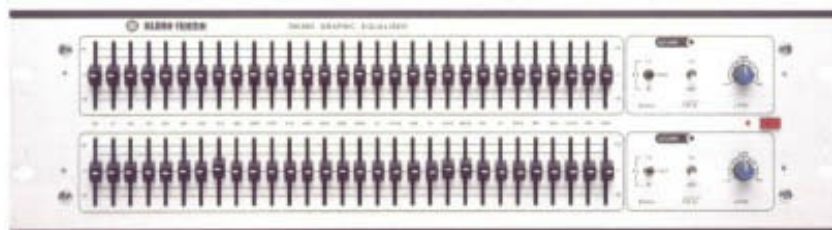


figura 4.126 equalizador gráfico de 1/3 de oitava, Klark Teknik, modelo DN360
cortesia Klark Teknik A figura 4.126 mostra um equalizador gráfico de 1/3 de oitava, porquanto a
figura 4.127 exhibe a característica de transmissão de seus filtros (apenas as atenuações estão indicadas
na figura).

Todas as frequências centrais dos equalizadores gráficos anteriormente referidos correspondem aos padrões ISO (International Standards Organization).

Embora existam equalizadores com outras frequências centrais que, portanto, não obedecem aos padrões ISO, esses são considerados aparelhos menos desejáveis. E naturalmente, bem mais difíceis de se operar.

Recomendo que eles não sejam utilizados em trabalhos profissionais porque, como veremos no capítulo 12, durante os procedimentos de equalização é fundamental que os equalizadores e os instrumentos de análise sejam compatíveis entre si.

E a melhor forma de se obter isso é respeitando padrões. No caso, as frequências centrais recomendadas ISO.

Devemos entender bem o que representam as curvas de características de transmissão dos filtros, como as da figura 4.127.

Elas correspondem à atuação máxima de cada um dos filtros, individualmente considerado. Isto é, o primeiro filtro é levado à sua posição de máxima atenuação, enquanto todos os demais estão neutros. E a curva de transmissão desse primeiro filtro é traçada.

A seguir, este primeiro filtro é neutralizado, e o segundo é que é levado à sua posição de máxima atenuação, enquanto todos os demais são mantidos neutralizados. E a segunda curva é traçada.

E assim sucessivamente, até que seja levantada a última curva, correspondente ao último

filtro, enquanto todos os demais ficam neutralizados.

Se atenuarmos ao máximo todos os filtros do equalizador, e formos levantar sua resposta elétrica, teremos algo bem parecido com o que mostra a figura 4.128.

Observem bem o que passa a ocorrer, lembrando que esses resultados foram obtidos com um aparelho considerado de muito boa procedência.

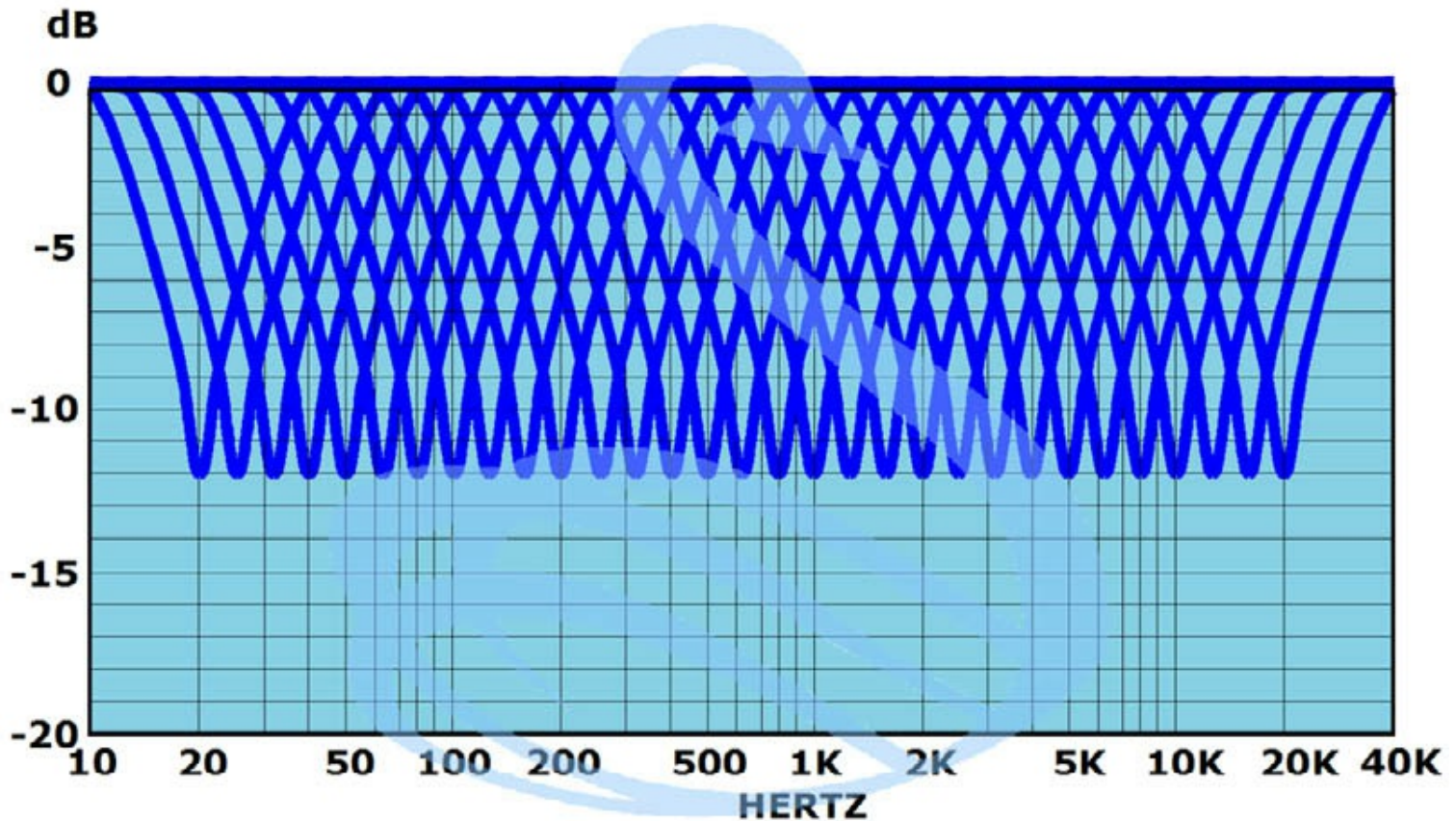


figura 4.127 características de transmissão dos filtros de um equalizador gráfico de 1/3 de oitavas
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Primeiro, os filtros adjacentes não se combinam
perfeitamente, e o resultado é uma severa condição de ondulação.

Segundo, embora isoladamente cada filtro atenua o máximo 12,0 dB, em conjunto eles produzem picos na curva, cujas amplitudes chegam a superar os 20,0 dB.

O que mostra que a combinação dos filtros nunca é como mostram os controles frontais dos equalizadores gráficos.

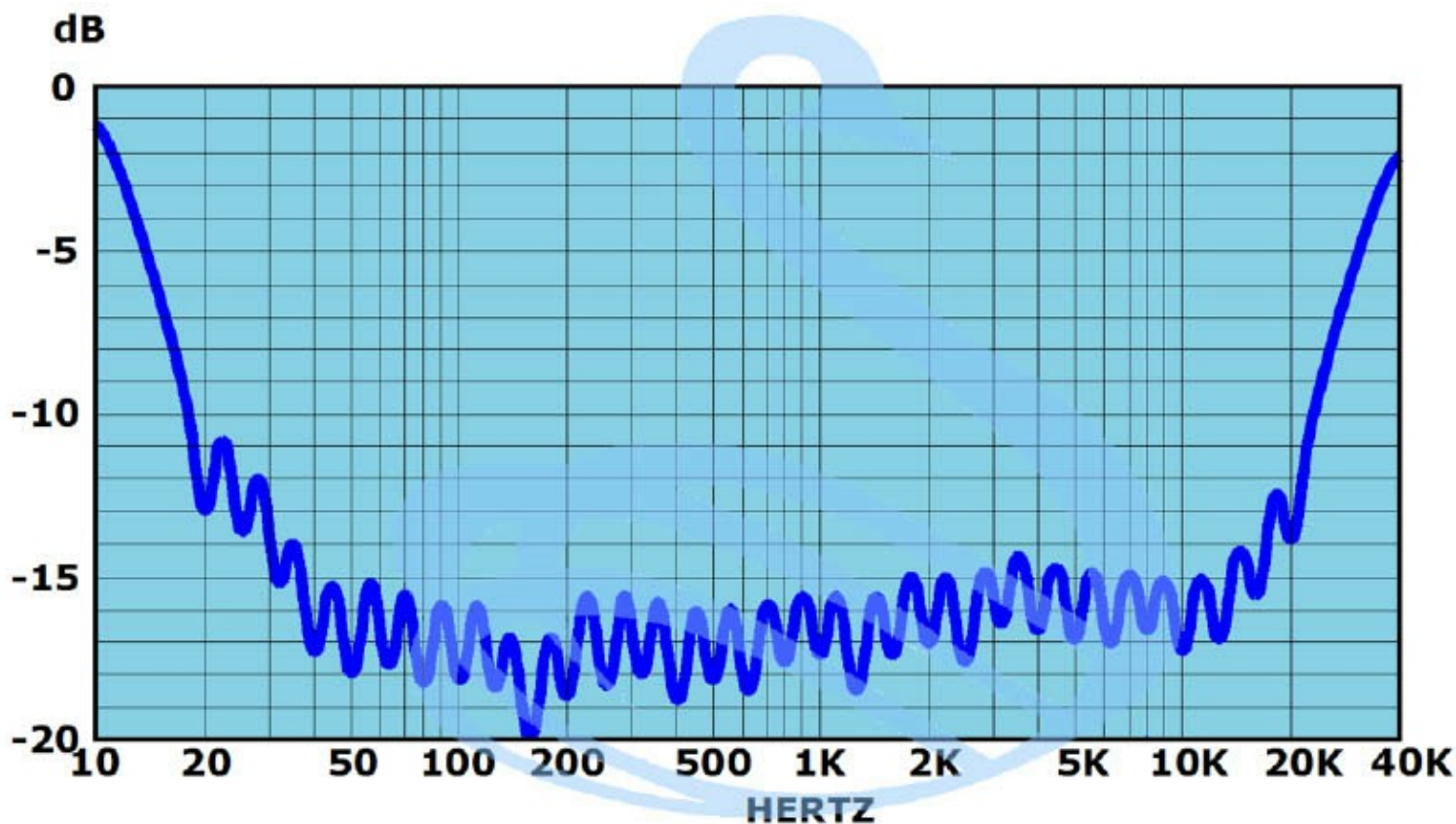


figura 4.128 resposta elétrica de um equalizador gráficos de 1/3 de oitava com todos os seus filtros em posição de máxima atenuação cortesia Donald B. Davis e Carol Davis O mesmo fenômeno ocorre com os filtros ajustados para suas condições de máximo reforço.

Para condições intermediárias de atenuação ou de reforço o fenômeno ainda continua a ocorrer, porém de forma menos acentuada.

E tudo isso é aplicável aos demais tipos de equalizadores gráficos. Isto é, aos equalizadores de 1/2 oitava e aos de oitava.

equalizadores gráficos - Q constante x Q variável O próprio nome equalizador gráfico é fruto da suposição de que todos os controles frontais representam graficamente, e com bastante aproximação, a curva de equalização obtida com aquele particular ajuste de controles.

Muitos autores até usam variações dessa frase para definir o que é um equalizador gráfico. E eles realmente acreditam nisso.

Vamos investigar mais sobre o assunto tomando como exemplo os equalizadores gráficos convencionais.

Cujos circuitos utilizam associações RLC, ou mesmo sua versão ativa, os gyrators.

Veremos claramente que as posições dos controles têm muito pouco a ver com as curvas de equalização a que dão origem.

Outro aspecto que poucos se dão conta é como se comportam as larguras de banda na medida em que os respectivos controles são acionados, para atenuar ou reforçar.

Se submetermos qualquer equalizador convencional a testes, constataremos que a largura da banda de qualquer filtro é incrivelmente deteriorada com o acionamento do respectivo

controle. Tão mais intenso quanto mais intensa é a atuação do controle.

Para alguns casos mais raros essa deterioração é tão pior quanto mais modestamente é usado o controle, e tende à normalidade quando o filtro está em atenuação ou reforço máximo. Esse comportamento depende essencialmente da circuitação do aparelho.

O termo deterioração foi usado propositadamente, pois a largura da banda pode se tornar tão ampla que por vezes seus efeitos praticamente atingem todo o espectro de frequências de áudio.

De um modo geral, a deterioração varia consideravelmente com a posição do controle da respectiva banda. A comunidade do áudio parou para analisar estes problemas, que são bastante sérios, e apresentou alternativas.

A maioria procurando separar integralmente as funções de amplitude e da banda passante dos filtros.

Mantida fixa a banda passante, os desequilíbrios dos equalizadores gráficos são minorados. Equalizadores com tais características são chamados de equalizadores de Q constante. Felizmente há muito já disponíveis no mercado.

As figuras 4.129 a 4.134 comparam o comportamento de um equalizador gráfico de 1/3 de oitava convencional com o de um equalizador de 1/3 de oitava Q constante, ambos submetidos a idênticas condições de operação.

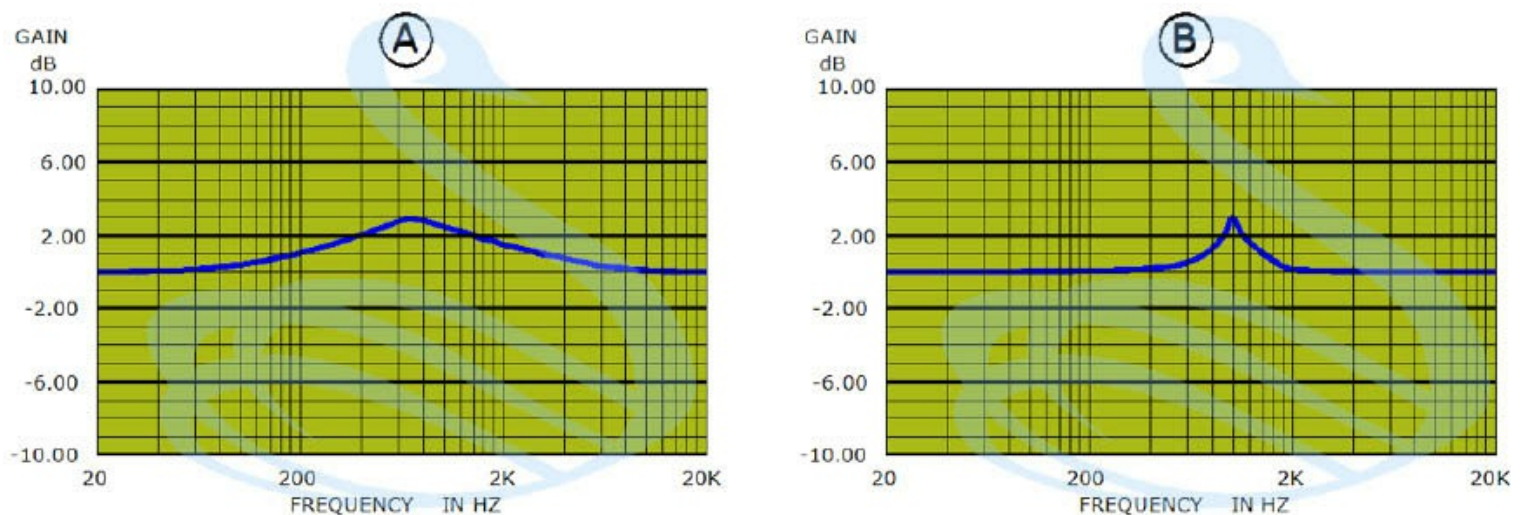


figura 4.129 equalizador com um só filtro ajustado para reforçar 3,0 dB

A. equalizador convencional B. equalizador de Q constante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 4.129A e 4.129B mostram os comportamentos de um equalizador convencional e os do de um de Q constante, respectivamente, ambos com um só controle reforçando 3,0 dB.

A diferença entre as larguras das bandas nos dois casos é evidente.

Mais evidente ainda é que a largura de banda do equalizador convencional de 1/3 de oitavas em nada se parece com um intervalo real de 1/3 de oitava. É só fazer contas.

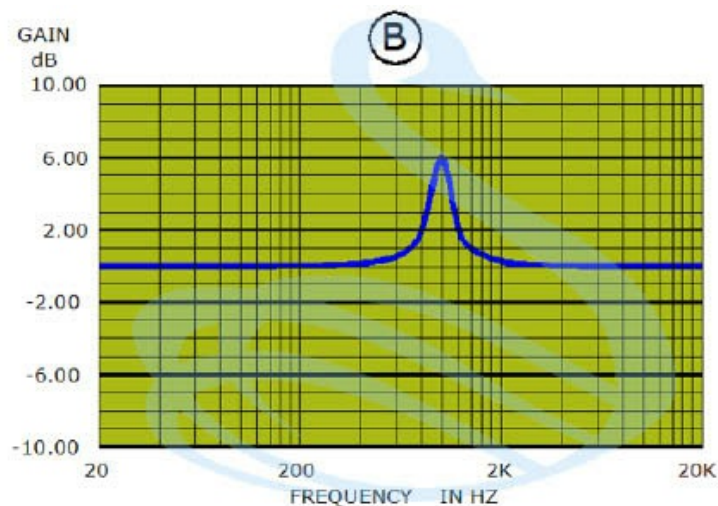
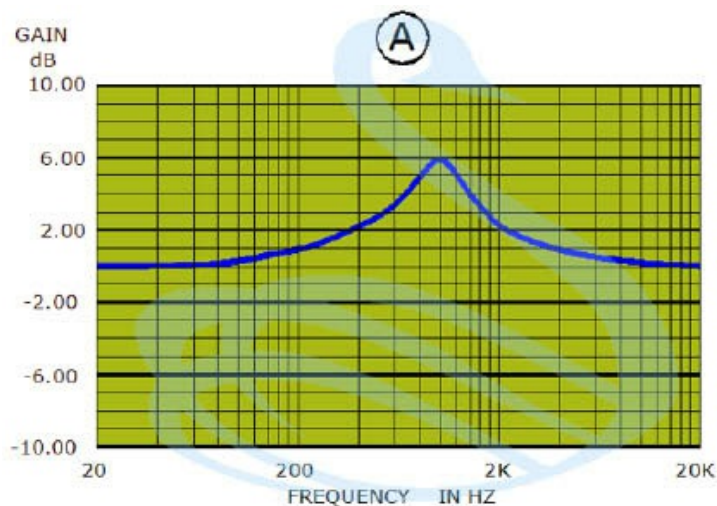


figura 4.130 equalizador com um só filtro ajustado para reforçar 6,0 dB

A. equalizador convencional B. equalizador de Q constante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A comparação das figuras 4.130A e 4.130B é semelhante ao que fizemos nas figuras 4.129A e B, mas agora o reforço é 6,0 dB. O equalizador de Q constante não alterou sua largura de banda. O convencional a alterou bastante e ainda está muito longe de se parecer com 1/3 de oitava.

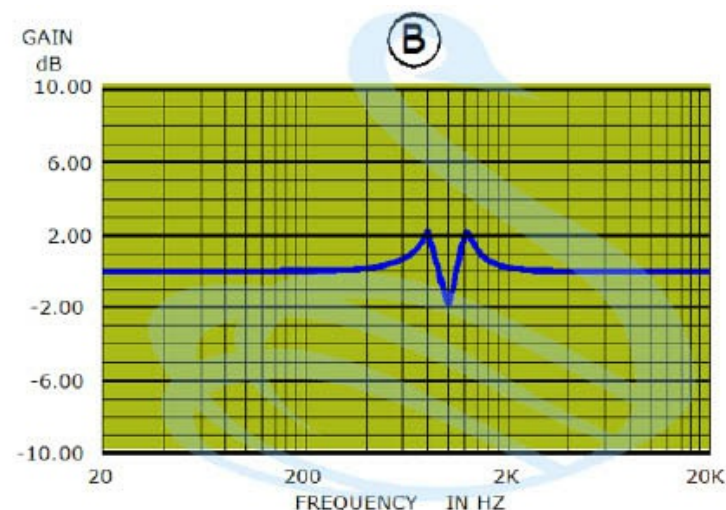
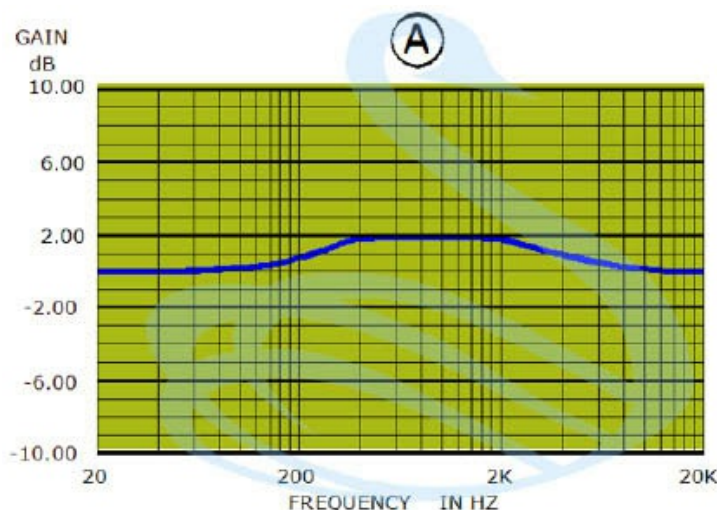


figura 4.131 equalizador com 3 filtros adjacentes ajustados para + 3,0 dB, - 3,0 dB, e + 3,0 dB

A. equalizador convencional B. equalizador de Q constante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nas figuras 4.131A e B os dois equalizadores estão com três controles adjacentes em + 3,0 dB, - 3,0 dB, e + 3,0 dB. Como mostra a curva 4.131A, no equalizador convencional o filtro central é incapaz de operar satisfatoriamente. Já o de Q constante, embora não atinja os + 3,0 dB, nem a marca - 3,0 dB, apresenta uma curva compatível com as posições dos controles.

Nas figuras 4.132A e 4.132B os dois equalizadores estão com três filtros adjacentes ajustados para + 6,0 dB, 0,0 dB e + 6,0 dB.

Nas figuras 4.133A e 4.133B os ajustes dos dois filtros adjacentes são + 3,0 dB e + 6,0 dB.

Finalmente, nas figuras 4.134A e 4.134B os dois equalizadores estão com três filtros adjacentes ajustados para + 6,0 dB. A análise cuidadosa de todas essas figuras deve sugerir o grau de dificuldade de se trabalhar com equalizadores gráficos convencionais, especialmente quando se confia que suas respostas elétricas sejam o reflexo exato do arranjo gráfico dos controles frontais. Afirmações que críticos técnicos e a imprensa especializada não se cansaram de repetir por décadas e décadas a fio. Como num verdadeiro processo de lavagem cerebral.

Vejam no que deu essa pataquada.

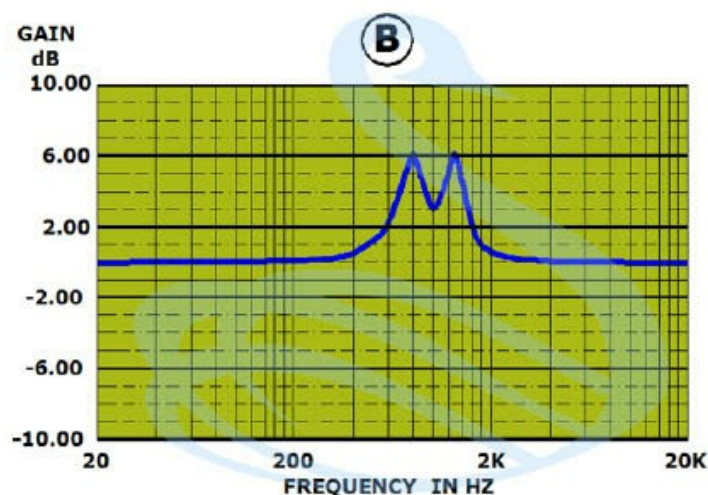
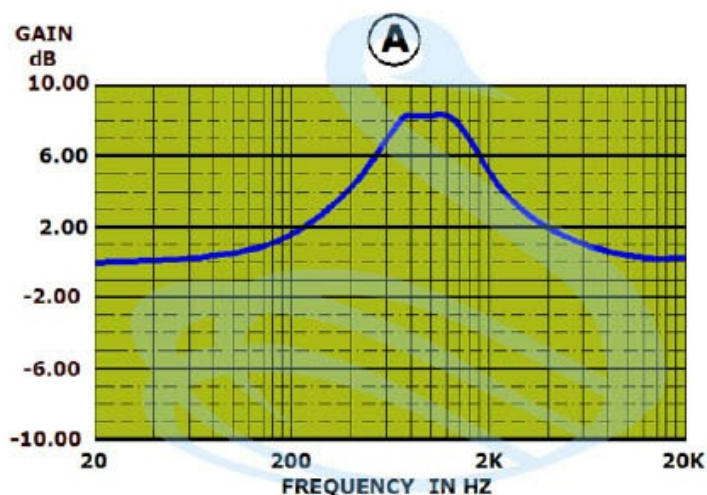


figura 4.132 equalizador com 3 filtros adjacentes ajustados para + 6,0 dB, 0,0 dB, e + 6,0 dB
A. equalizador convencional B. equalizador de Q constante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

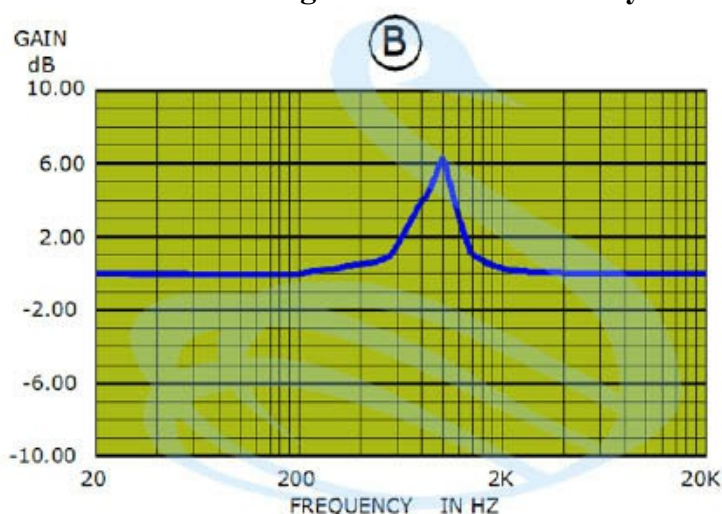
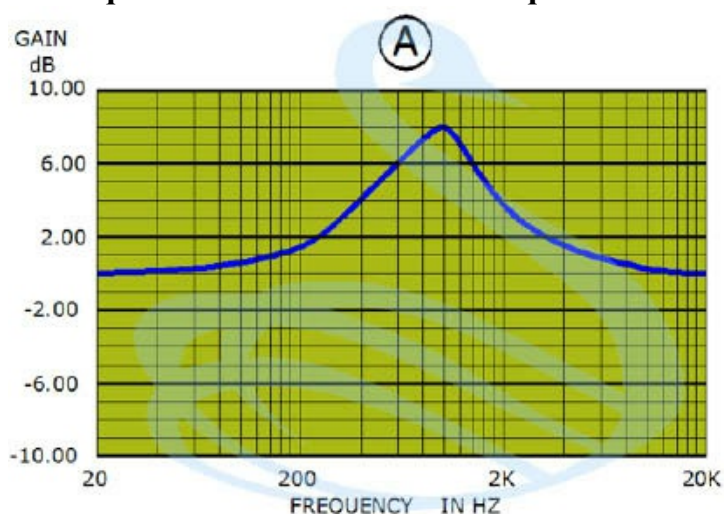


figura 4.133 equalizador com 2 filtros adjacentes ajustados para + 3,0 dB, e + 6,0 dB
A. equalizador convencional B. equalizador de Q constante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

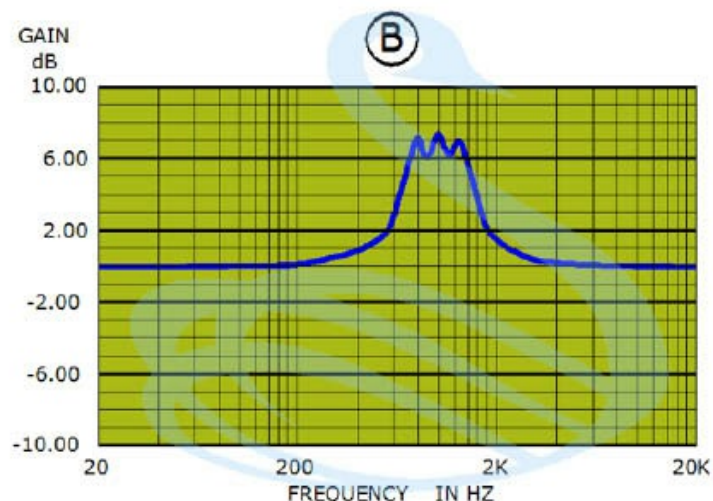
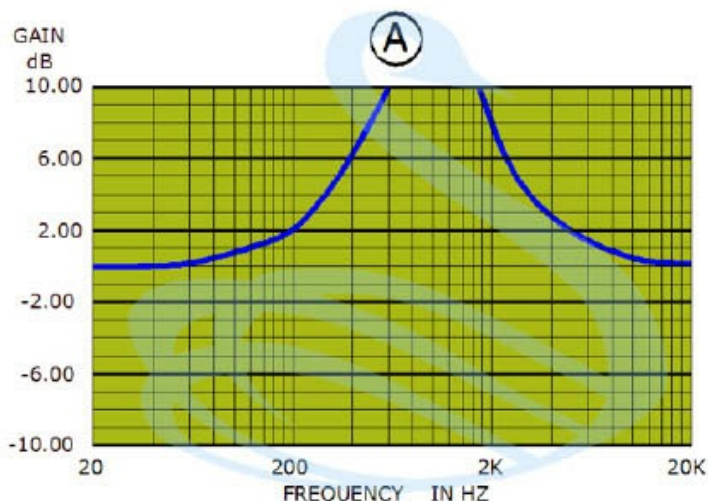


figura 4.134 equalizador com 3 filtros adjacentes ajustados para + 6,0 dB, + 6,0 dB, e + 6,0 dB
A. equalizador convencional B. equalizador de Q constante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O caro leitor deve considerar que todo equalizador projetado com filtros sintonizados gera ondulações na resposta de frequência.

As quais são produzidas por tolerâncias nos ajustes dos filtros adjacentes. Evidentemente, isso provoca irregularidades nas respostas a transientes. Problema esse que pode ser aliviado com os equalizadores transversais.

4.4.1.19 Equalizadores Paramétricos Apesar do extraordinário elenco de possibilidades que

um equalizador gráfico de 1/3 de oitava oferece, o que o torna incrivelmente flexível, ocorre, por vezes, ser necessário efetuar pequenas correções numa frequência intermediária entre duas de suas frequências centrais. E com os equalizadores gráficos isso só é possível se parte de material que deveria permanecer sem alterações também for «corrigido».

O termo vai entre aspas porque, no caso, a correção significa eliminar programa apenas por limitação dos equalizadores.



figura 4.135 equalizador paramétrico Klark Teknik, modelo DN405

cortesia Klark Teknik Esse inconveniente pode ser tranquilamente evitado com o uso dos equalizadores paramétricos.

Até aqui, todos os equalizadores que vimos não permitem o controle do Q.

Mas não os paramétricos. Nestes, além do controle de atenuação e de reforço para cada filtro, para cada um deles é possível ajustar o Q, e com isso fazer variar a largura de banda dos filtros. Mas ainda não é tudo. Para cada filtro também se pode “sintonizar” a frequência central.

Havíamos visto equalizadores nos quais era possível optar por dois ou três valores de frequências para cada banda, de modo discreto. Nos equalizadores paramétricos, a «sintonia» das frequências centrais é a possibilidade de se fazer variá-la continuamente entre dois limites, pelo que ela pode assumir qualquer valor que não os extrapole, sob nosso controle.

Em muitos produtos esses limites são 20 Hz e 20 kHz. O que significa que podemos alocar os filtros em quaisquer áreas problemáticas, sem limitações.

O nome paramétrico advém da série de parâmetros que se pode controlar simultaneamente, por filtro: atenuação e reforço, Q e sintonia das frequências centrais.

Por tudo isso, os equalizadores paramétricos são de flexibilidade ímpar, e oferecem excepcional adequação de aplicações a casos gerais em tal grau que só necessitam de três ou quatro filtros, versões em que são geralmente projetados e construídos.

A figura 4.135 mostra um equalizador paramétrico.

Em mãos competentes, equalizadores paramétricos são ferramentas de potencial inacreditável.

São muito empregadas as combinações de equalizadores paramétricos com os gráficos de 1/3 de oitava.

Para os profissionais mais exigentes, e experientes, a flexibilidade destas combinações dispara de vez.

Elas não são recomendáveis para pessoas sem muita experiência, pois a contrapartida disso é a fácil chance de ocorrência de sérios problemas sônicos, incluindo-se possíveis lesões causadas aos equipamentos, principalmente caixas acústicas e amplificadores.

4.4.1.20 Equalizadores Paragráficos Finalmente, há os equalizadores paragráficos, que são produtos híbridos, reunindo características dos equalizadores paramétricos e dos gráficos.

Esse tipo de aparelho é tecnicamente muito parecido com um equalizador gráfico de oitava, apenas que a ele foram adicionados os controles de Q e de ajuste de frequências central, para cada uma das 10 ou 11 bandas.

4.4.1.21 Equalizadores Transversais A rigor, quando falamos de filtro transversal estamos falando de uma arquitetura específica de filtro, na qual as saídas das diversas seções são eletronicamente somadas para produzir a saída final do filtro. Desse modo, o conceito por trás da técnica dos filtros transversais é que algumas frequências de seções diferentes podem ser escolhidas para que apresentem oposição de fases. Desse modo essas frequências se cancelam. Ora, tudo por ser devidamente selecionado para que as frequências canceladas sejam precisamente as que o filtro deve rejeitar. Isso se ajusta mediante acertos individuais dos parâmetros das seções.

Os filtros transversais podem ser implementados com circuitação passiva, como bem mostraram Wiener e Lee com sua patente de 1935. Outrossim, atualmente a eficiência torna-se muito elevada com implementação ativa. Os filtros FIR, já examinados anteriormente, têm arquitetura nativa transversal. A implementação torna-se fácil porque microprocessadores DSP podem efetuar cálculos baseados numa sequência na forma de elo fechado e repetitivo de uma única instrução.

Em razão do exposto os filtros FIR também são chamados de filtros transversais. Os equalizados que os utilizam são os equalizados transversais.

O lado esquerdo da figura 4.136 mostra um equalizador transversal padrão rack. No lado direito da mesma figura está uma seção de um equalizador transversal, agora em montagem padrão “Eurocard” universal. Este é um padrão profissional modular de placas de circuito impresso que são encaixados num chassi como se fossem gavetas verticais, sendo as conexões feitas elétricas promovidas na parte traseira das placas. Essa fórmula tem seus princípios regulados pela norma IEEE 1101.11.



figura 4.136 equalizador transversal montagem em carcaça com padrão rack à esquerda e equalizador transversal montagem padrão “Eurocard” universal à direita cortesia IRPI Professional Sound Products Estes equalizadores utilizam apenas um único filtro FIR, porém controlado externamente por 29 seções, correspondentes a 29 bandas de frequências de 1/3 de oitava cada, com frequências centrais ISO. Os espaçamentos entre as frequências centrais das bandas controladas também são de 1/3 de oitava.

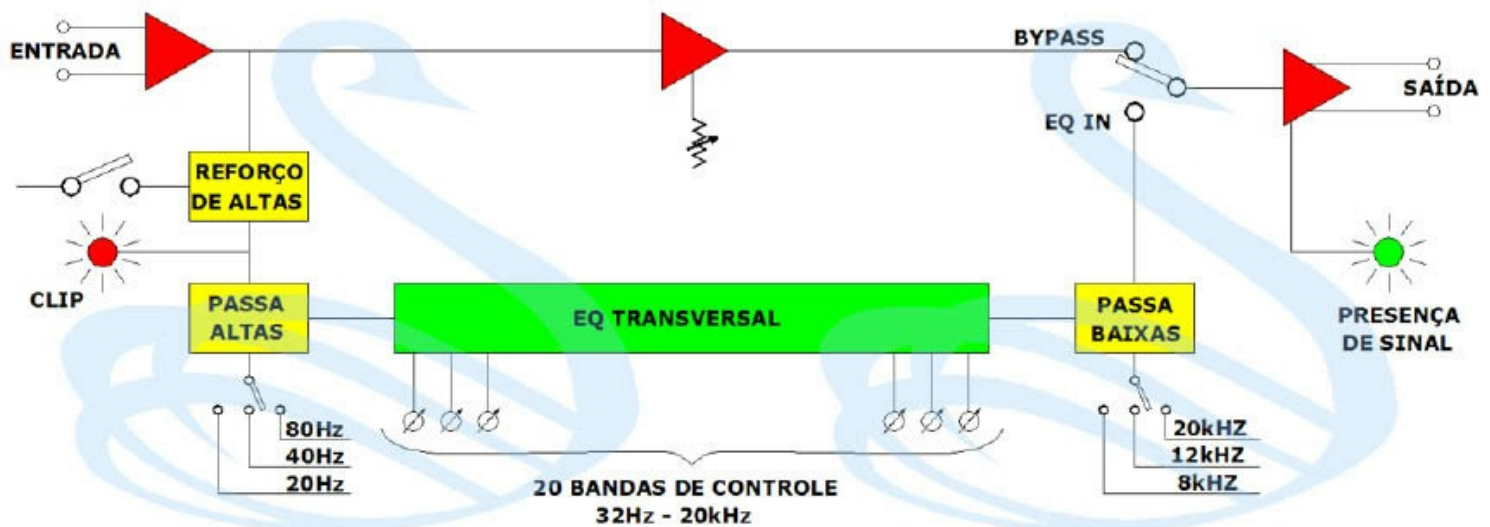


figura 4.137 diagrama de blocos simplificado de um equalizador transversal típico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É importante que se entenda que este tipo de processador não usa filtros ressonantes independentes, colocados adjacentes uns aos outros. Ao contrário, o único filtro FIR é capaz de criar a resposta elétrica desejada.

Ao contrário dos equalizadores convencionais que utilizam filtros ressonantes, a combinação de “bandas adjacentes” nos equalizadores transversais é totalmente previsível.

A resposta composta do filtro FIR possibilita reforços e atenuações de $\pm 20,0$ dB, com ondulação inferior a $\pm 0,1$ dB. Isto para quaisquer combinações de atenuação e/ou reforço!

A resposta de fase desses equalizadores é o que se pode chamar de mínimo absoluto. Sem introdução de quaisquer erros de fase.

4.4.1.22 Aplicações dos Equalizadores Cada um desses equalizadores, ou combinações, se destina a um tipo específico de problema. Dessa forma cada um deles tem aplicação diferenciada de todos os demais.

A previsão do equalizador ou equalizadores que serão necessários para atender às necessidades de um determinado sistema, ainda na fase de projeto, é efetivamente problemática. De fato, muitos dos fatores intervenientes só poderão mesmo ser constatados em

campo, à luz das reais condições que prevaleçam no local. Nossa capacidade de avaliar antecipadamente tais necessidades com a acuidade e com o grau de detalhes necessários é realmente limitada.

Na maioria das vezes, quando as especificações devem ser feitas com antecedência em relação ao momento em que é possível detalhar melhor as reais necessidades de equalização, são solicitados equalizadores gráficos de 1/3 de oitava. Às vezes estes e mais os paramétricos.

4.4.2 Compressores

A aplicação dos compressores está intimamente relacionada com o que se chama de gama dinâmica. Assim, antes de discutirmos este tipo de processador, é conveniente que tenhamos ao menos uma ideia do que é gama dinâmica. E também, do que se entende por envelope dos sons. Como a gama dinâmica será discutida mais detalhadamente no capítulo 12, por ora trataremos apenas de seus aspectos essenciais.

4.4.2.1 Gama Dinâmica Os ouvidos humanos, essas verdadeiras obras primas da natureza, estão aparelhados para detectar sons extremamente débeis. Por exemplo, os provocados pelo delicado roçar de simples partículas de ar em nossos tímpanos. Embora com sacrifícios, também estamos habilitados a ouvir ruídos incrivelmente elevados, como os provocados por decolagens de aviões a jato próximos de nós, ou sirenes de 50 HP nas adjacências.

A diferença entre esses limites opostos determina a gama dinâmica dos sons naturais, de alguns programas musicais, e também, de nossos ouvidos. Por razões óbvias, esta é a gama dinâmica acústica.

Deixando de lado a área acústica para ingressar na elétrica, vamos pensar agora em termos de equipamentos.

Todo e qualquer aparelho de som só pode tratar satisfatoriamente os sinais de áudio dentro de dois limites bem definidos.

Dentro desses limites, o trabalho dos aparelhos será realizado no que poderíamos chamar de condições normais de operação.

Acima de seu limite superior, nenhum aparelho consegue acompanhar a intensidade dos sinais. E as porções de sinal que ultrapassam esse limite, geralmente picos, são transformadas em distorção. Numa de suas formas mais puras e ingratas, já que se mostram extremamente desagradáveis para nossos ouvidos. E ainda, muito perigosas para os equipamentos em geral. Quando os equipamentos operam nessas condições, dizemos que estão saturados. Quanto mais os sinais ultrapassam o limite, maior o grau de saturação, e mais severas são as distorções.

Para cada aparelho, esse limite depende de fatores construtivos e de projeto, sendo o

principal deles a máxima voltagem interna disponível.

Quanto ao limite inferior, este se deve a algumas causas, sendo a principal os próprios componentes eletrônicos.

Com efeito, operando como elementos de circuitos, componentes eletrônicos como resistores, capacitores, indutores, válvulas, transistores e circuitos integrados, produzem um certo nível de ruído, que lhes é característico. Isto se aplica a todo e qualquer componente eletrônico. Inclusive a simples condutores, como fios elétricos.

Vejamus este caso específico. Quando um condutor é percorrido por corrente elétrica, cria-se em seu interior um movimento aleatório e descontrolado de elétrons, que geralmente afeta igualmente a todas as frequências. Essa forma de ruído nada mais é do que o ruído branco que discutimos no capítulo anterior.

Evidentemente, a soma dos ruídos produzidos por todos os componentes utilizados num determinado circuito ou aparelho acabam presentes em sua saída. Este ruído recebe muitos nomes diferentes, e sua intensidade mostra-se aproximadamente constante, independentemente de como os aparelhos são operados.

Tal forma de produção indesejável de ruído elétrico é absolutamente inevitável, pois decorre diretamente de fenômenos físicos. E não de deficiências de projeto ou de fabricação, ou da qualidade dos componentes empregados. Claro que esses fatores podem agravar o quadro, mas os ruídos dos quais falamos independem deles.

É por isso que as especificações de todos os equipamentos sérios se referem às figuras de ruído, ou de ruído mais “hum”, ou de ruído de fundo, ou de ruído equivalente de entrada, ou qualquer outra forma que possa descrever bem o nível real de ruído do produto.

Quando os níveis dos sinais processados por um aparelho são inferiores ao do ruído elétrico, podem ser facilmente mascarados pelos mesmos, razão pela qual geralmente tornam-se inaudíveis, ou audíveis com a nítida presença de componentes espúrios e indesejáveis.

Desse modo, vemos que os aparelhos exibem dois limites claros ao trabalhar com sinais de áudio. Um superior, acima do qual não há mais capacidade de operação. E outro, inferior, caracterizado pelo nível de ruído próprio, abaixo do qual o processamento não tem qualquer sentido.

A diferença entre esses dois limites define a gama dinâmica de cada aparelho. Agora chamada de gama dinâmica elétrica.

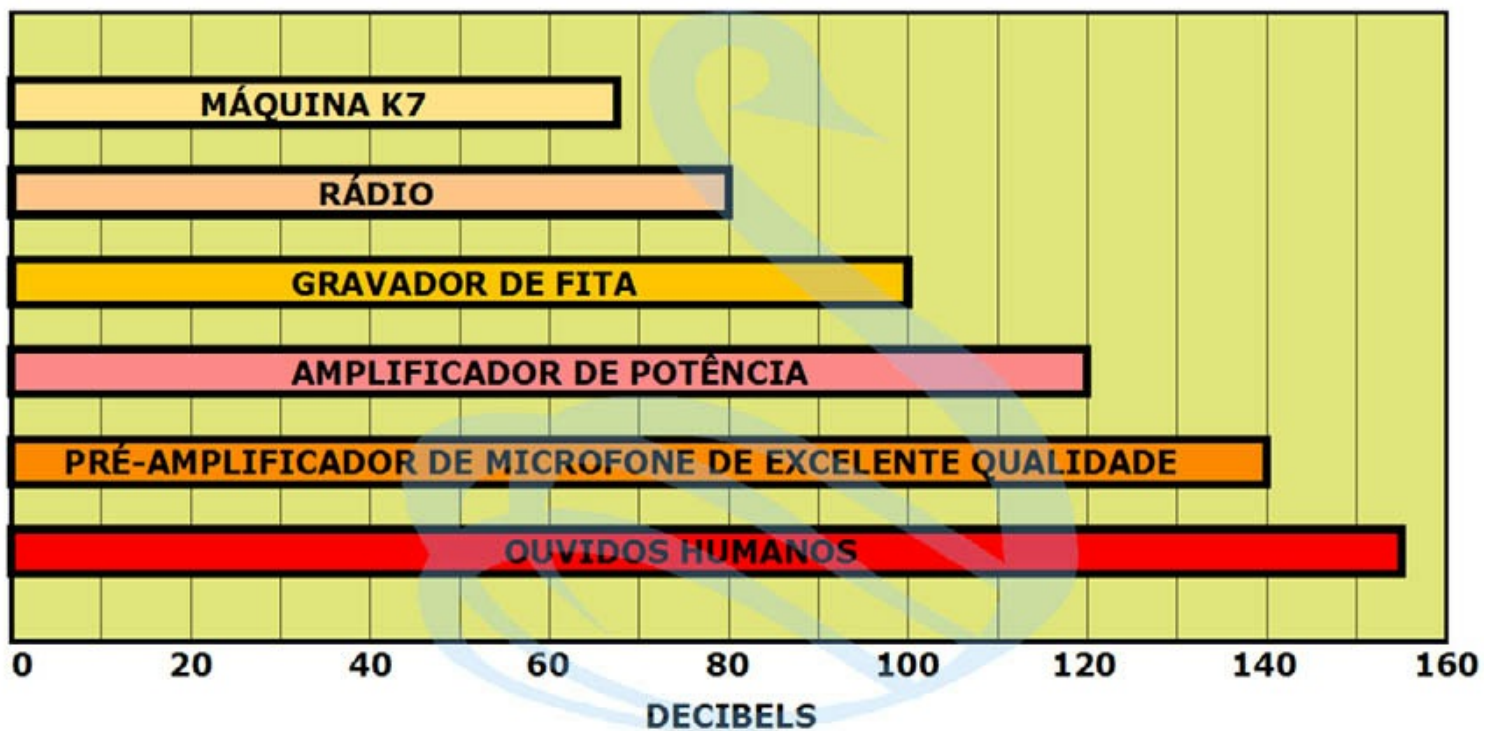


figura 4.138 gama dinâmica acústica e gamas dinâmicas de vários equipamentos eletroacústicos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se alguém tentar reproduzir ou registrar elevadas gamas dinâmicas acústicas utilizando aparelhos eletrônicos, analógicos ou digitais, logo constatará que a missão é literalmente impossível.

A impossibilidade ocorre porque, não surpreendentemente, as gamas dinâmicas elétricas se mostram bem inferiores às gamas dinâmicas acústicas. Essa diferença pode ser debitada às condicionantes inerentes às tecnologias correntes de gravação e de reprodução de sons acústicos, mesmo as mais avançadas, que se apoiam em equipamentos, portadores natos das limitações antes discutidas.

Nada melhor do que uma comparação direta para avaliar bem o que acabo de dizer. E esse é o propósito da figura 4.138, que mostra a gama dinâmica acústica, e as gamas dinâmicas elétricas de vários tipos de equipamentos, todos de qualidade superior.

4.4.2.2 O Envelope dos Sons

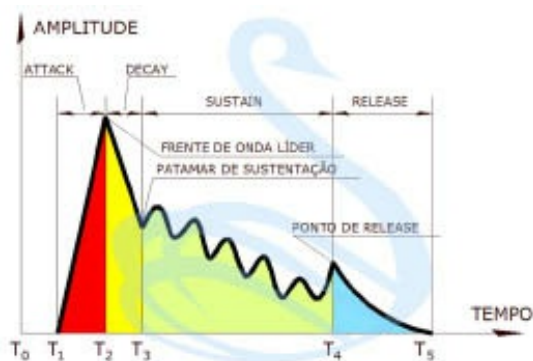


figura 4.139 envelope dos sons acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se você parar para pensar um segundinho na batida de uma baqueta na pele de um bumbo, creio que lhe parecerá intuitivo que a intensidade do som produzido parte de zero, e inicialmente aumenta até atingir um certo patamar.

Após o que passa a diminuir gradualmente até que o som se extinga totalmente.

O mesmo acontece quando um violonista timbra qualquer da corda de seu violão, ou quando tocamos a nota de um piano, e até quando gritamos. De fato, isso acontece com

quaisquer sons.

Uma averiguação mais detalhada do comportamento das intensidades dos sons em função do tempo revela que, para todos os sons, essa função pode ser grosseiramente enquadrada num modelo genérico, chamado envelope dos sons.

Para estudar esse aspecto, acompanhe vendo o gráfico da figura 4.139, que mostra quatro fases bem distintas e sucessivas.

Na primeira fase, que inicia no momento em que o som é produzido, ou T_1 na figura, a intensidade aumenta progressivamente, até atingir um valor conhecido por frente de onda líder, ou patamar transiente, o que ocorre no momento T_2 . Esta é a fase de ataque (attack) do som.

Na fase seguinte, que começa no momento T_2 , a intensidade começa a cair abruptamente, mas num certo momento tende à estabilização, e atinge o chamado patamar de sustentação. O que acontece no momento T_3 . Essa é a fase de queda (decay) do som.

A terceira fase inicia no momento T_3 , e então a intensidade do som diminui, mas numa taxa muito inferior em comparação com a fase de queda. Até chegar ao ponto de extinção no instante T_4 . Esta é a fase de sustentação (sustain) do som, assim denominada exatamente porque nela, a tendência é de uma relativa sustentação de intensidade.

Na quarta e última fase, que inicia no momento T_4 , a intensidade decresce gradualmente até que não haja mais som, o que, no caso da figura, ocorre no momento T_5 . Essa fase, que encerra a sequência, é a fase de extinção (release) do som.

O envelope dos sons também é chamado de ADSR, numa forma reduzida de Attack - Decay - Sustain - Release.

Por ser um modelo genérico, não podemos esperar que todo e qualquer som se enquadre exatamente nesse padrão. Melhor seria dizer que cada som possui sua própria característica de ADSR. Ou que cada som possui envelope próprio, com variações que lhe são peculiares.

Por exemplo, o limite entre a queda e a sustentação é de definição um tanto ou quanto difícil para a maioria dos sons.

Sons percussivos possuem ataques muito rápidos, seguidos de queda que se confunde com a sustentação, enquanto a extinção pode ser mais rápida ou mais lenta.

As notas prolongadas tocadas por instrumentos de corda, como um violino, possuem sustentação consideravelmente longa. E exemplo de som com ataque lento é o da voz humana.

Uma maneira agradável de praticar o reconhecimento dos envelopes dos vários sons é escutando instrumentos musicais executados sozinhos, sem processamento eletrônico.

4.4.2.3 O Compressor como Processador Bem, após termos discutido esses dois aspectos podemos falar dos compressores. Que você já deve estar desconfiado. Servem para reduzir a gama dinâmica acústica ou elétrica. Isto mesmo, você está certo.

Imagine então um vocalista utilizando um microfone de um sistema de reforço durante uma performance. Em certos momentos, especialmente durante passagens apoteóticas, ele mostrará toda sua potência vocal. Em outros momentos, o vocalista poderia estar praticamente sussurrando ao microfone.

Além disso, ao cantar, artistas não costumam assumir uma postura estática. Ao contrário, se movimentam, o que pode afastá-los consideravelmente do microfone, ou aproximá-los, em momentos diferentes da mesma apresentação.

Tudo isso faz com que a gama dinâmica acústica seja muito elevada. No que é seguida pela gama dinâmica elétrica. E os ouvintes acabam hora submetidos a níveis extraordinariamente elevados de pressão sonora, e os equipamentos, eventualmente saturados, e hora a pressão sonora estará abaixo do nível de ruído ambiente.

O que podemos fazer para melhorar esse quadro?

Uma das alternativas seria pedir ao vocalista que procurasse controlar sua própria dinâmica acústica. Outra, apelar para o operador. Pedir a ele que preste muita atenção ao canto. Quando o nível de áudio estiver muito baixo, ele deve aumentar um pouquinho o ganho do pré. Tanto mais quanto mais baixo for o nível. Por outro lado, pediremos a ele que reduza o ganho do pré diante de níveis elevados, para evitar as distorções. Ele será instruído para atenuar tanto mais quanto mais elevados eles forem os níveis desses sinais. Mas, será que o que estamos pedindo funcionará?

Naturalmente não precisamos de resposta para tal pergunta.

Convenhamos, do ponto de vista prático, nenhuma dessas duas alternativas é viável.

Se fizermos uma breve análise do que precisamos, veremos que o que queremos é reduzir a gama dinâmica acústica dos cantos, e as correspondentes gamas dinâmicas elétricas ao longo do sistema de reforço. Assim, nem é preciso lançar mão de nossas alternativas. Porque o que queremos é exatamente o trabalho que os compressores podem fazer.

Já nos anos 40 a indústria cinematográfica sentia a necessidade da compressão. Principalmente para uso durante gravações com sistemas óticos, de modo a prevenir a sobrecarga do modulador.

Empresas pioneiras, como a Westrex e a RCA respondiam a essa necessidade lançando seus modelos de compressores valvulados, como o RA-1593A e o MI-10234C, respectivamente.

Mas a principal necessidade da compressão advinha dos problemas durante a reprodução das trilhas sonoras em cinemas. Especialmente a reprodução de diálogos e de efeitos especiais. As passagens de baixos níveis eram reproduzidas com volumes tão reduzidos que geralmente ficavam abaixo do NRA das casas, sendo por eles mascarados.

Ao mesmo tempo, as passagens de níveis elevados eram reproduzidas com níveis tão altos que os equipamentos de áudio acabavam saturados. Além disso, a qualidade das reproduções era considerada pouco natural.

A compressão também era usada para a transferência de pistas do meio magnético para o meio ótico. Em razão da gama dinâmica muito maior do primeiro meio.

Na ocasião, havia duas formas de compressão. A gradual e a de limitação. A diferença entre ambas estava apenas na forma de usar o mesmo processador. O que logo deu origem aos limitadores. Tais como os conhecemos hoje.

Vejamos então os compressores com mais detalhes.

O compressor é um amplificador especial que reduz o ganho (amplificação) dos sinais que ultrapassam um determinado limite. É desse modo que a gama dinâmica torna-se comprimida, como ilustra a figura 4.140.

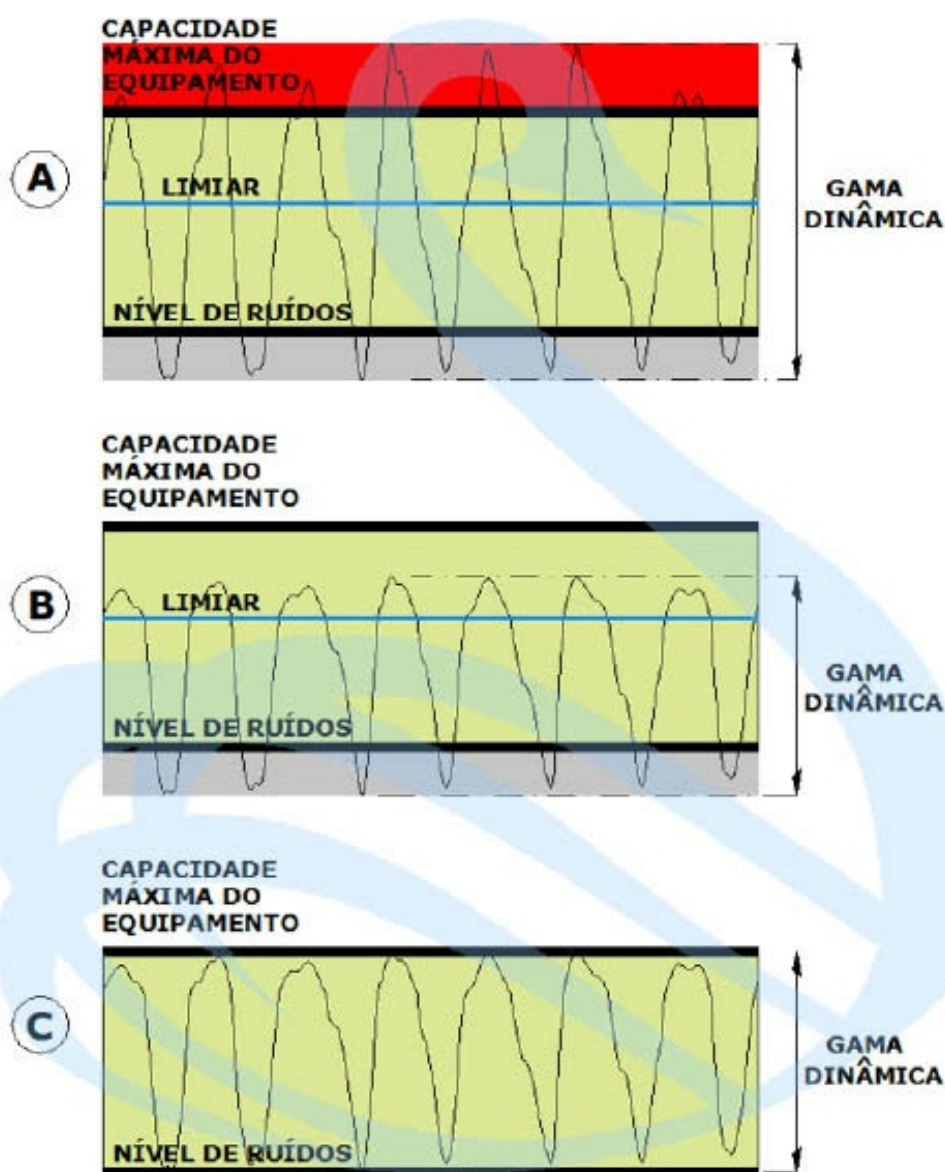


figura 4.140 o processamento compressão A. sinal antes da compressão B. sinal após compressão C. sinal comprimido com ganho restabelecido acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como resultado da compressão, os sinais mais débeis ficam bem mais próximos dos que têm nível mais elevado, e as passagens musicais muito suaves tornam-se mais encorpadas.

4.4.2.4 Parâmetros

Este é o momento para discutirmos os parâmetros típicos de um compressor.

limiar

Definitivamente, um dos parâmetros operacionais mais importantes dos compressores é o limiar. Trata-se do nível de sinal elétrico abaixo do qual o compressor não altera o ganho imposto ao programa, e além do qual o ganho imposto ao programa é reduzido.

O limiar (threshold) é sempre ajustável dentro de uma ampla gama de valores em todos os compressores.

taxa de compressão

A taxa de compressão é o indicador da redução do ganho. Assim, ela representa a taxa de variação do nível do sinal de entrada necessária para que haja uma determinada variação do nível do sinal de saída.

Se considerarmos que abaixo do limiar o ganho é unitário (relação de 1:1), uma taxa de compressão de 2:1 nos mostra que para variações de 2,0 dB no nível de entrada corresponderão variações de apenas 1,0 dB no nível de saída. Ou que variações de 80,0 dB no nível de entrada corresponderão a variações de 40,0 dB no nível de saída.

Claro que a taxa de compressão só se aplica acima do limiar.

A figura 4.141 mostra claramente o limiar, o ganho unitário até esse limiar, e como ficam os níveis dos sinais de saída acima dele para dois exemplos de taxa de compressão. De 2:1 e de 10:1.

Na figura, o eixo horizontal representa os níveis dos sinais de entrada, e o eixo vertical os níveis dos sinais de saída. Nota-se que até o limiar, representado no eixo horizontal, para cada decibel de sinal de entrada corresponde também 1 decibel de sinal de saída.

Que é o ganho unitário, ou taxa de compressão de 1:1. Por isso, taxa de compressão de 1:1 significa nenhuma compressão.

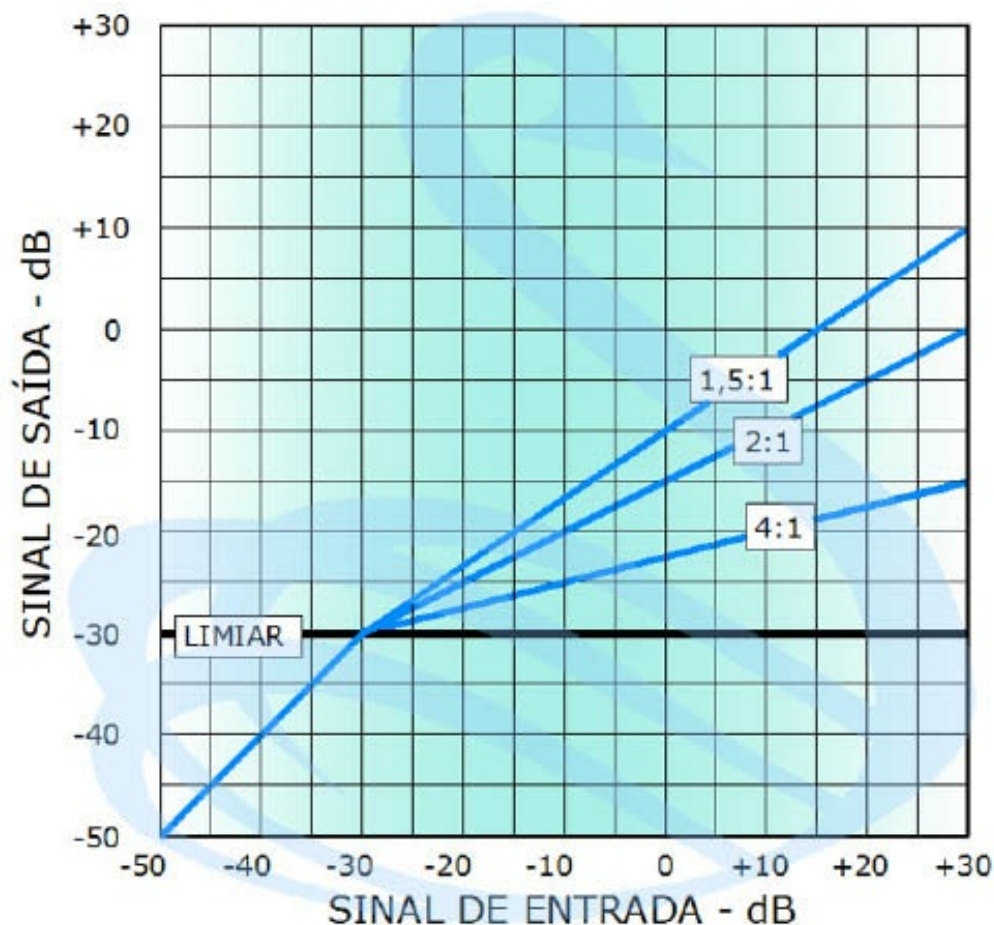


figura 4.141 ilustração de limiar e de taxa de compressão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mas a partir do limiar, a relação não precisa ser mais necessariamente 1:1. A figura exemplifica as duas taxas mencionadas. Na maioria dos compressores a taxa de compressão também é ajustável. Geralmente, de 1:1 até ∞ :1.

ataque (attack)

Este é um outro parâmetro ajustável nos compressores.

O ataque, ou tempo de ataque, é o tempo que o processador leva para atuar completamente, isto é, promover a integral redução de ganho ajustada, a contar do momento em que o sinal ultrapassa o limiar.

Na maioria dos compressores o ataque pode ser ajustado para qualquer tempo entre 50 microssegundos e 200 milissegundos.

A figura 4.142 mostra o efeito de um ataque rápido no gráfico central, e de outro lento, em baixo, quando aplicados sobre o mesmo sinal de áudio. No caso, uma onda quadrada, representada em sua condição natural na parte superior da figura.

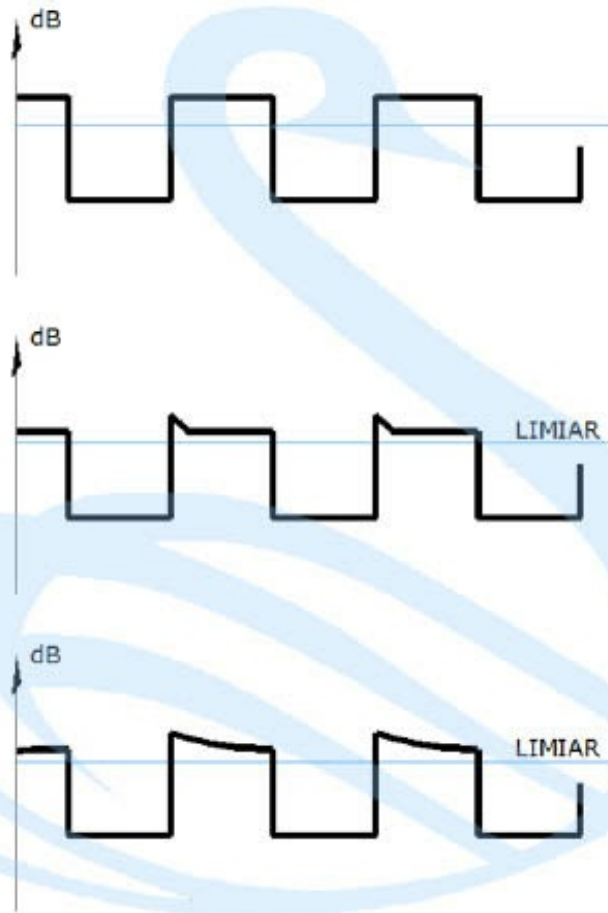


figura 4.142 tempo de ataque rápido e de tempo de ataque lento, ambos aplicados sobre onda quadrada
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne extinção (release)

Este é outro parâmetro ajustável nos compressores. O grau de importância atribuído a este ajuste é extraordinário.

Enquanto o sinal está acima do limiar, o compressor está trabalhando com ganho reduzido. Quando o sinal volta a ser inferior ao limiar, o processador deve voltar a operar com ganho normal. Pois bem, define-se extinção, ou tempo de extinção, como o tempo que o processador leva para restabelecer seu ganho normal, a contar do instante exato em que o sinal volta a ser inferior ao limiar.

Na maioria dos compressores a extinção pode ser ajustada entre 50 milissegundos e 3 segundos.

A figura 4.143 mostra o efeito da extinção rápida na parte central, e outra, lenta, na parte inferior, quando aplicadas sobre o mesmo sinal de áudio. Ainda aqui uma onda quadrada, representada novamente em sua condição natural na parte superior da figura.

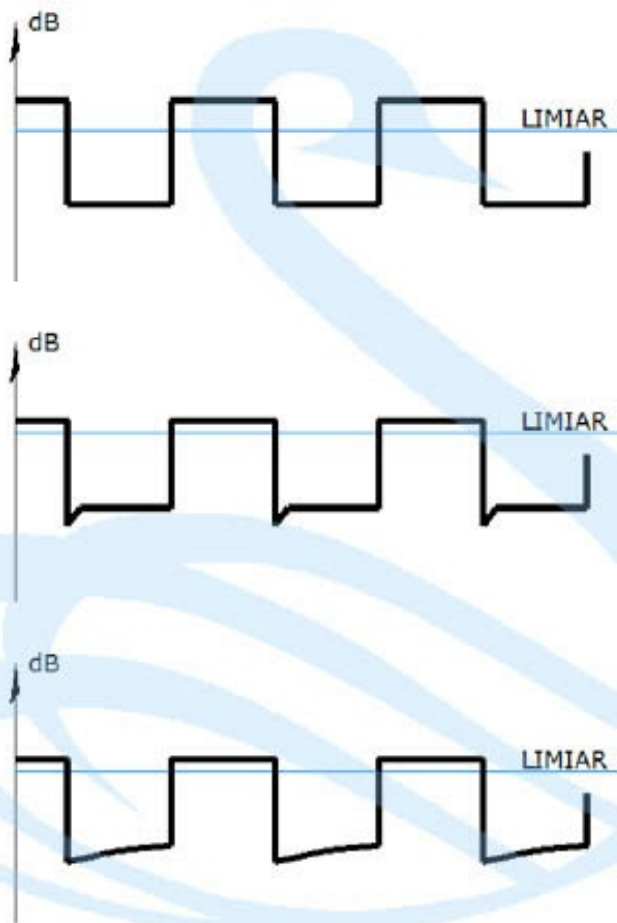


figura 4.143 tempo de extinção rápido e de tempo de extinção lento, ambos aplicados sobre onda quadrada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne joelho (knee)

Este parâmetro nem sempre está presente em todos os compressores. Mas de fato é um recurso muito útil. O joelho pode ser ajustado entre dois extremos, denominados hard e soft.

Tenho testemunhado muita confusão que se faz entre os parâmetros joelho e ataque. Para que você possa distinguir bem uma coisa da outra, tenha em mente inicialmente que o termo joelho refere-se ao ponto onde o compressor inicia a mudança de sua curva, como bem mostra a figura 4.144. Agora, preste atenção nessa figura.

No gráfico 4.144A está representado o joelho hard e no gráfico 4.144B o joelho soft, um ao lado do outro.

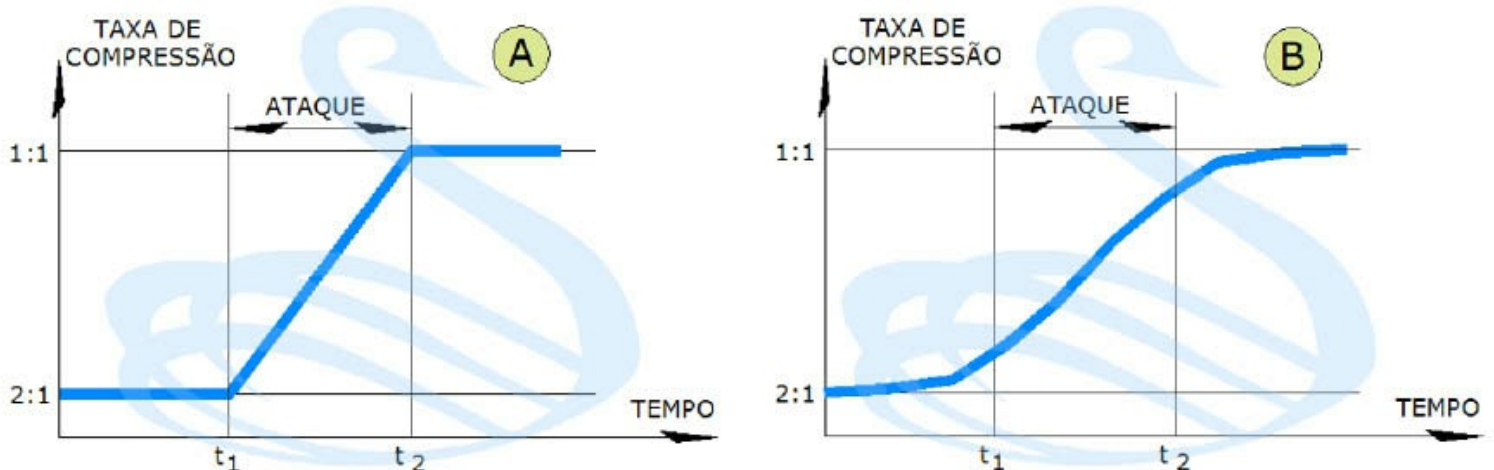


figura 4.144 ilustração de joelho hard e de joelho soft acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nos dois casos t_1 é o momento em que o sinal ultrapassa o limiar. E ainda, nos dois casos a diferença $t_2 - t_1$ representa o tempo de ataque.

Observe que o ataque é aproximadamente o mesmo nos dois casos. Então onde está a diferença? Na forma como o processador introduz o ganho do ponto de vista temporal.

Se o joelho é hard, a mudança de ganho imposta pelo processador é radical e praticamente instantânea. Ao contrário, se o joelho é soft, a mudança é gradual e progressiva. Note que ela de fato inicia antes mesmo do sinal ultrapassar o limiar.

Os ajustes entre os extremos hard e soft produzem curvas intermediárias entre o que mostram os dois gráficos da figura 4.144.

side chain

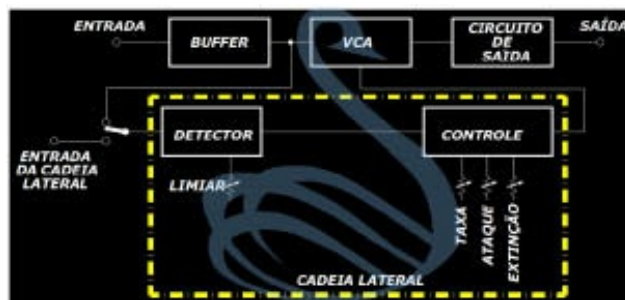


figura 4.145 diagrama básico de um compressor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Todos os compressores são equipados com uma cadeia lateral, ou circuito “side chain”, ou ainda, “side amplifier”. E em muitos deles há um recurso extra, que é uma entrada específica dessa cadeia. Aliás, coisa que os antigos compressores valvulados já empregavam.

Para entender mais facilmente o que é a entrada da cadeia lateral, veja o diagrama da figura 4.145, que mostra um esquema genérico e muito simplificado de um compressor.

Na parte superior da figura vemos que a entrada principal do aparelho é encaminhada para um circuito buffer, cuja função é receber e ajustar os sinais de entrada para o estágio seguinte, o VCA. Quando discutimos os mixers vimos que VCA é abreviação para “Voltage Controlled Amplifier”, ou seja, amplificador controlado por voltagem. Vimos também que o significado prático disso era que o ganho do amplificador acaba sendo determinado por uma voltagem de controle.

E assim, esse é o estágio que governa a dinâmica de todo o processo. A saída do VCA vai diretamente para o estágio de saída do compressor, de onde os sinais prosseguem para as saídas principais do aparelho.

Vemos também que a saída do buffer é endereçada para um detector de áudio, que é o primeiro estágio da cadeia lateral. Sua função é detectar o nível ajustado como limiar, para determinar se o ganho do aparelho deve ou não ser alterado. A saída do detector é encaminhada para o estágio de controle, onde são estabelecidos os parâmetros taxa de compressão, tempo de ataque e tempo de extinção. E o sinal de saída desse estágio é a voltagem de controle que comanda o VCA de acordo com os parâmetros ajustados pelo usuário.

Fica fácil perceber que o sinal de controle do compressor é uma amostra do próprio sinal

de entrada do processador. Entretanto, o seletor que precede a cadeia lateral pode ser comutado para que o controle do processador seja exercido por um sinal externo. Tratando de problemas de áudio há mais de 30 anos, fui testemunha ocular de inúmeros casos em que se deixou de usar esta entrada, até mesmo quando ela era terrivelmente necessária, simplesmente por desconhecimento de seu verdadeiro potencial.

De fato, muitas vezes se deseja aplicar a compressão a apenas um segmento do espectro de áudio, e não a todo ele. Entretanto, quando o processador é controlado a partir de uma amostra do sinal de entrada, a compressão é aplicada indistintamente a todas as frequências do espectro. Um problema? Sim. Solução? Também. Basta utilizar a mesma amostra do sinal de entrada, porém, filtrada por filtros ou equalizadores externos, e injetada diretamente na entrada da cadeia auxiliar.

Dessa maneira, os sinais que servirão como base para todo o controle do processador conterão apenas as frequências relevantes que se quer processar. E com isso, todas as demais frequências não estarão sujeitas ao processamento, ainda que seus níveis superem o limiar. O que ocorre porque o detector não as reconhecerá.

Exemplo disso são os de-essers, que aplicam compressão exclusivamente na região do espectro onde se concentra a sibilância. Pelo que vimos, também podemos usar os compressores como de-essers, bastando que filtremos os sinais de controle, e os apliquemos na entrada da cadeia lateral.

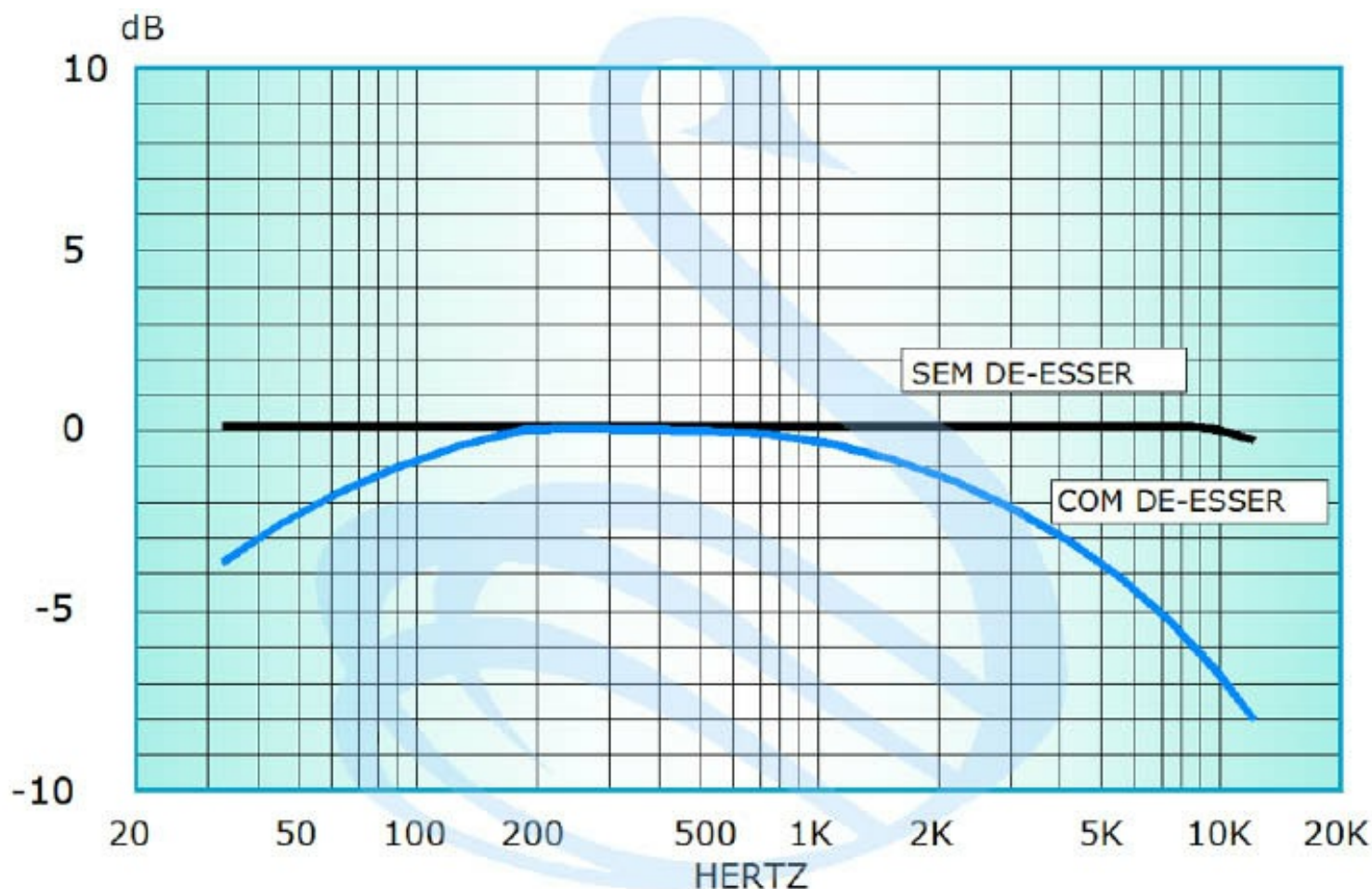


figura 4.146 características de resposta de frequência de um «de-essers» de compressor acervo do engº

Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.146 mostra as curvas de resposta de frequência de um equalizador antigo com a circuitação “de-esser” inserida e removida da cadeia de processamento.

medidor de redução de ganho Uma vez que os compressores reduzem o ganho aplicado aos sinais cujos níveis ultrapassam o limiar, a cada instante haverá uma certa redução de ganho, que depende da intensidade do sinal naquele mesmo instante, e que pode ser referenciada ao que seria o ganho unitário. Estabelecida em decibels, a redução de ganho é usualmente indicada num medidor denominado medidor de redução de ganho, instalado no painel frontal dos compressores.

bypass

Os compressores normalmente possuem uma tecla ou seletor bypass, cuja função é possibilitar que os sinais em sua saída não fiquem submetidos à compressão. Com isso, pode-se comparar diretamente os sinais comprimidos e não comprimidos, com uma simples pressão numa tecla, ou com o simples acionar de um seletor.

Outros aparelhos possuem recursos diferentes para possibilitar a mesma monitoração.

limitações de ajuste dos parâmetros Em muitos compressores, nem todos os parâmetros são continuamente ajustáveis como vimos até aqui. Por exemplo, em aparelhos mais simples o tempo de ataque pode ser apenas escolhido entre rápido ou lento. E em outros, este tempo é pré ajustado em fábrica, e não pode ser alterado.

Isso também pode ser aplicável ao tempo de extinção.

Claro que essas simplificações resultam em limitações de ajuste dos processadores, e finalmente, a limitações na obtenção de resultados.

funções automáticas

Muitos compressores possuem algumas funções automatizadas. O que certamente simplifica o uso do processador, mas também limita a obtenção de resultados.

Na maioria dos compressores sofisticados, isso é apresentado como um recurso extra. Isto é, além dos parâmetros poderem ser manualmente ajustados um a um, também é possível recorrer a um ajuste automático de parâmetros. Nesse caso, os parâmetros são continuamente ajustados pelo aparelho em função da dinâmica dos sinais a cada momento.

Outra das funções automáticas de compressores com dois ou mais canais de processamento é o modo “slave”, ou “stereo link”. Nesse modo, controle de um dos canais passa a exercer também o controle sobre os demais canais. O que simplifica o procedimento de ajustes, desde que se queira o mesmo ajuste para todos os canais.

A figura 4.147 mostra um compressor.



figura 4.147 compressor Klark Teknik, modelo DN500

cortesia Klark Teknik 4.4.2.5 Aplicação dos Compressores As aplicações dos compressores são tantas que seria impossível tratá-las a todas num trabalho de abordagem geral, como este. Entretanto, vamos discutir as principais delas.

De um modo geral, podemos dizer que os compressores são usados individualmente para cada instrumento ou voz, para grupos deles, ou ainda, para processar o programa como um todo. Além disso, a compressão pode ser feita seletivamente, por frequências, como vimos anteriormente para o caso dos de-essers, onde é utilizada a cadeia lateral.

Para efeito desta discussão vamos organizar as aplicações na seguinte ordem: Processamento individual de voz ou instrumento: gravação, criação de feitos, e música ao vivo.

Processamento do sinal como um todo: gravação, criação de efeitos especiais, ação protetiva em música ao vivo, e broadcasting.

Aplicação com seletividade de frequências: de-esser, filtragem de ruídos indesejáveis, correção de material já gravado, ênfase de instrumentos, redução de realimentação (microfonia), e função «ducking».

processamento individual - gravação Vimos anteriormente que muitas vezes é desejável controlar a gama dinâmica acústica de um vocalista, antes de reproduzir os correspondentes sinais através de um sistema de reforço de som.

Pela mesma razão, o compressor é utilizado para reduzir as gamas dinâmicas de vocais em geral antes que o material seja registrado, analógica ou digitalmente.

O mesmo também é desejável com muitos instrumentos musicais, cujas gamas dinâmicas acústicas, ou elétricas em casos de instrumentos elétricos, são consideradas elevadas a ponto de comprometer a gravação.

Nesses casos, a aplicação é denominada corretiva, e os ajustes dos parâmetros são feitos de acordo com a necessidade de cada caso.

Como regra geral, a limiar é sempre baixo, e a taxa de compressão tão moderada quanto possível.

Embora uma taxa de compressão de 2:1 possa parecer pouca mudança entre entrada e saída, é de fato uma variação considerável.

Portanto, devemos estar muito atentos para não cometer erros de exagero. Recomendo que não se trabalhe com taxas superiores a 3:1, e na pior das hipóteses, 4:1. Mesmo assim, apenas em casos excepcionais.

Com relação aos ajustes de tempos de ataque e de extinção, o primeiro deve ser aproximadamente o mesmo que o do envelope natural do som comprimido. De fato, quanto mais longo ele for em relação ao ataque natural do som a ser comprimido, menos compressão haverá. E como se o processador só estivesse preparado para aplicar a compressão quando já não fosse mais necessário. Ou por outra. Ele nos faltaria exatamente nos momentos em que o processamento é mais desejável.

Por outro lado, tempos de extinção muito curtos levam a uma mudança de estado de ganho muito rápida, produzindo um efeito colateral denominado “pumping”. O resultado sônico desse efeito é extremamente desagradável. E quando o tempo de extinção é muito longo, surgem problemas nos momentos em que passagens musicais com muita energia são abruptamente seguidas de outras, com muito pouca energia. Nessas condições, estas passagens com pouca energia também acabam comprimidas, com resultados desagradáveis. Além disso, o efeito “pumping” também pode se fazer notar. Como suas características são diferentes das do efeito “pumping” provocadas por tempos de extinção muito curtos, agora o efeito também é denominado respiração.

processamento individual - criação de efeitos Um contrabaixo elétrico que tenha um envelope caracterizado por um ataque muito rápido, seguido de uma queda, de uma sustentação, e de uma extinção relativamente longas, parecerá agressivo, mas seu nível médio de energia será consideravelmente baixo.

Se este mesmo instrumento é reproduzido por um amplificador, seguido de um falante, o próprio transdutor se incumbe de promover uma compressão acústica do ataque, já que sua massa móvel, relativamente grande, não possui as características físicas para reproduzir fielmente o envelope dos sons. Especialmente os ataques de curtíssima duração.

Por isso, muitos músicos se habituariam aos sons de seus instrumentos com falta de dinâmica. E em condições ideais de monitoração, eles sentem um som “diferente” do qual estão acostumados. E preferem que sejam introduzidas alterações, até que seus instrumentos soem do modo como estão acostumados. Isto é, com mais sustentação em relação ao ataque. O que requer compressão na fase de ataque. Nesses casos, o limiar e a taxa de compressão podem ser ajustadas de modo que se obtenha exatamente o efeito desejado. O ataque é sempre muito rápido, e o ajuste do tempo de extinção segue as regras do caso anterior.

Outro exemplo de criação de efeito é o aproveitamento de um efeito secundário, considerado indesejável em aplicações corretivas. Trata-se do efeito “pumping”, que foi evitado por décadas a fio por engenheiros e técnicos de som. Atualmente, esse efeito é tido como indispensável em vários gêneros musicais modernos. E então, a função de redução da gama dinâmica deixa de ter importância.

Para obter esse efeito, o limiar é ajustado em valores muito baixos, a taxa de compressão deve ser bem elevada, o ataque acompanha o ataque do envelope natural do som a ser processado, e o ajuste do tempo de extinção assume posições extremas.

Estes são apenas dois exemplos. Mas o uso da imaginação possibilita a criação de um sem número de efeitos especiais. Quer com vozes, quer com instrumentos musicais.

processamento individual - música ao vivo As linhas gerais de processamento individual de voz e de instrumentos que vimos acima também são aplicáveis a casos de música ao vivo.

Mas é preciso observar um detalhe. Como a música ao vivo gera sinais para a frente da casa, para a monitoração de palco, e muitas vezes também para gravação, e até para broadcasting, é preciso aplicar a compressão de forma distinta, de acordo com os vários destinos dados aos sinais.

O que requer a esplitagem dos sinais dos microfones e dos instrumentos em tantas partes quantas necessário, e a utilização de processadores dedicados a cada uma dessas partes. E desse modo é possível ajustar de forma diferente os processadores que atendem cada uma das aplicações.

processamento de programa - gravação O objetivo aqui é reduzir a gama dinâmica do material a ser gravado às limitações de gama dinâmica do meio que vai registrar o programa. Seja ele analógico ou digital.

Considerando que o material a ser gravado pode conter várias vozes e vários naipes de instrumentos, todos executados simultaneamente, os ajustes serão sempre uma solução de compromisso.

O limiar será tipicamente muito baixo, e a taxa de compressão tipicamente muito reduzida. Assim, a compressão iniciará com níveis inferiores de sinal, mas será praticada moderadamente. E o resultado será um programa natural e mais musical, como os que estamos habituados a ouvir em discos.

Os ajustes de tempos de ataque e de extinção deverão ser feitos de acordo com a natureza da música para que os efeitos colaterais sejam evitados.

processamento de programa - criação de efeitos especiais Quanto mais baixo é o limiar, e mais elevada é a taxa de compressão, mais a compressão se faz sentir. E muitos preferem um efeito resultante de baixos limiares combinados com taxas médias de compressão, tipicamente entre 4:1 a 8:1.

E a isso pode ser adicionado o efeito “pumping”, se desejado.

Outros efeitos especiais serão discutidos adiante, com o processamento seletivo por

frequências.

processamento de programa - ação protetiva Essa é uma das principais aplicações dos compressores, especialmente quando são envolvidos sistemas de reforço de som. Trata-se da maneira de proteção que analisamos anteriormente, e que foi a maneira divisada pelos engenheiros de áudio que trabalhavam com cinemas, para proteger amplificadores e alto-falantes, e evitar distorções.

Novamente, o objetivo é reduzir a gama dinâmica do material. Agora, esta gama dinâmica deve ser adaptada às limitações de gama dinâmica elétrica de todo o sistema de reforço.

O material a ser reproduzido também pode conter várias vozes e vários naipes de instrumentos, todos executados simultaneamente. Assim, os ajustes continuam sendo uma solução de compromisso.

O limiar é tipicamente baixo, e a taxa de compressão tipicamente muito reduzida. E o resultado pode ser natural e musical.

Os ajustes de tempos de ataque e de extinção são feitos de acordo com a natureza do programa, e evitar efeitos colaterais é um segundo objetivo, tão importante quanto o principal.

A ação protetiva dos compressores inseridos em sistemas de reforço equipados com crossovers eletrônicos, e mesmo dos sistemas controlados, analisados adiante neste capítulo, continua sendo bastante eficiente. A razão é simples, os picos de programa, que são endereçados aos crossovers, ou aos controladores, já são evitados num estágio anterior.

processamento de programa - broadcasting Até o advento da TV a cabo, a programação de TV era transmitida por ondas hertzianas. O que ainda ocorre com as transmissões de rádio AM e FM, e mesmo muitas de TV. E por razões históricas, os ouvintes de rádio e os telespectadores de TV sempre deram preferência às emissoras cujas condições de recepção fossem as melhores possíveis. Com ondas hertzianas, as melhores condições de recepção dependiam muito do “volume” transmitido.

Como volume pode ser entendido como a relação entre o nível médio de programa e os picos transmitidos, torna-se claro que sempre foi interessante transmitir com o máximo volume possível, ou, com o mais elevado nível médio de programa que pudesse ser obtido.

Por isso, os compressores são usados para comprimir os sinais de áudio antes de sua transmissão por emissoras de rádio e de TV, de modo a obter volumes elevados. A contrapartida é que a gama dinâmica acaba sendo inevitavelmente reduzida.

Nesse momento, alguém poderia perguntar, e esse caso, quanta compressão pode ser aplicada?

A compressão moderada dos sinais de áudio de rádio e de TV é capaz de produzir volumes mais elevados, sem efeitos colaterais. Por outro lado, quando o processamento é exagerado,

embora os volumes possam aumentar consideravelmente, o preço a pagar é a redução drástica da gama dinâmica, que geralmente se faz acompanhar por efeitos colaterais audíveis.

Portanto, tudo a passa a depender da intenção dos proprietários das emissoras, e/ou da capacitação das correspondentes equipes técnicas.

processamento seletivo por frequências - de-esser Vimos anteriormente como os compressores podem ser usados como de-essers. Esse tipo de aplicação, que é seletiva por frequências, só é possível se a cadeia lateral for utilizada.

Para utilizar um compressor como de-esser, é preciso inserir um equalizador, que pode ser gráfico ou paramétrico, na cadeia lateral.

O programa geral é aplicado na entrada do compressor. E uma amostra do sinal ao qual se quer aplicar a função de-esser, é levada à entrada do equalizador. A saída deste é então levada à entrada da cadeia lateral. Ajustam-se as frequências centrais de alguns filtros do equalizador para as frequências nas quais as sibilâncias estão presentes. Esses filtros são reforçados ao máximo, e os demais, atenuados ao máximo.

Com isso, uma vez ajustado o limiar do compressor, o processador só responderá às frequências de controle, isso é, aquelas que contém as sibilâncias. Reduzindo os picos sibilantes. E os demais segmentos do programa não são afetados.

processamento seletivo por frequências - filtragem de ruídos indesejáveis A mesma técnica discutida acima pode ser empregada para a filtragem de ruídos indesejáveis de um programa. Imagine que uma determinada gravação esteja contaminada com ruídos de 60 Hz, provenientes da rede de energia.

Então, se inserirmos um equalizador paramétrico na cadeia lateral do compressor, é usarmos um só de seus filtros, sintonizado para 60 Hz, com o Q ajustado para um valor muito elevado, podemos comprimir bastante, e eventualmente mascarar o ruído indesejável.

O mesmo raciocínio aplica-se a quaisquer tipos de ruídos. Mas a eficiência é sempre maior para ruídos de banda estreita.

processamento seletivo por frequências - correção de material já gravado Certos programas gravados apresentam falta de balanço tonal considerável.

O que pode ocorrer por questão de gosto pessoal, ou por erros de mixagem.

Por exemplo, um contrabaixo mixado com mais energia do que deveria. Pare para pensar nisso e tente visualizar uma possível forma de equilibrar o desajuste.

Um compressor pode ser usado para melhorar tal situação.

A técnica ainda é a mesma.

Filtra-se com o equalizador inserido na cadeia lateral todo o material que se quer

comprimir. Assim, os filtros correspondentes ficam em posição de reforço, e os demais, atenuados.

E a partir daí, o processador apenas comprimirá o material selecionado no equalizador.

processamento seletivo por frequências - ênfase de instrumentos Em muitas gravações os instrumentos que solam não mereceram o destaque devido.

O equalizador inserido na cadeia lateral do compressor possibilita a compressão parcial do material complementar, se sorte a dar um pouco mais de ênfase aos instrumentos que solam. O melhor ou pior resultado dependerão essencialmente da natureza do programa processado, e dos ajustes feitos no processador.

processamento seletivo por frequências - redução de realimentação (microfonia) A realimentação será abordada com detalhes em outros capítulos. Entretanto, para vermos como os compressores podem ser usados para aliviá-la, devemos saber agora que microfonia é um fenômeno caracterizado por uma só frequência.

Se tivermos um equalizador inserido na cadeia lateral, podemos filtrar a frequência de microfonia. E esta será a frequência de controle para o compressor. Isso é, ele só comprimirá esta mesma frequência, deixando o restante do programa intacto.

processamento seletivo por frequências - função «ducking»

Muitas vezes se deseja fazer uma locução, sequencial ou interrompida, mas com a assistência de música de fundo. O ideal é que a música tivesse seu nível reduzido todas as vezes que o locutor entrasse, e que o nível fosse restabelecido ao final de cada locução.

Naturalmente isso pode ser feito “à mão”. Contudo, é possível automatizar essa operação com o emprego de um compressor.

Nesse caso, a saída da fonte de música é diretamente encaminhada para a entrada principal do compressor, cuja saída retorna para um mixer.

O sinal do microfone, amplificado pelo mesmo mixer, prossegue para ser misturado com a música. Mas se tirarmos uma amostra dele, e a encaminharmos para a entrada da cadeia lateral do compressor, todo o conteúdo musical que “concorre” com a locução será comprimido. É possível ajustar o grau de compressão para que os resultados sejam excepcionalmente naturais.

Essa técnica, ou função, é denominada “ducking”.

4.4.3 Limitadores

O limitador é um particular tipo de compressor.

Por isso, muitas vezes chamado de compressor limitador.

A rigor, para ser chamado de limitador, o processador é mesmo um compressor, porém,

projetado para trabalhar com um limiar sempre muito elevado, e com uma taxa de compressão mínima de 10:1, podendo chegar a ∞ :1.

Assim, qualquer compressor convencional pode ser utilizado como um limitador.

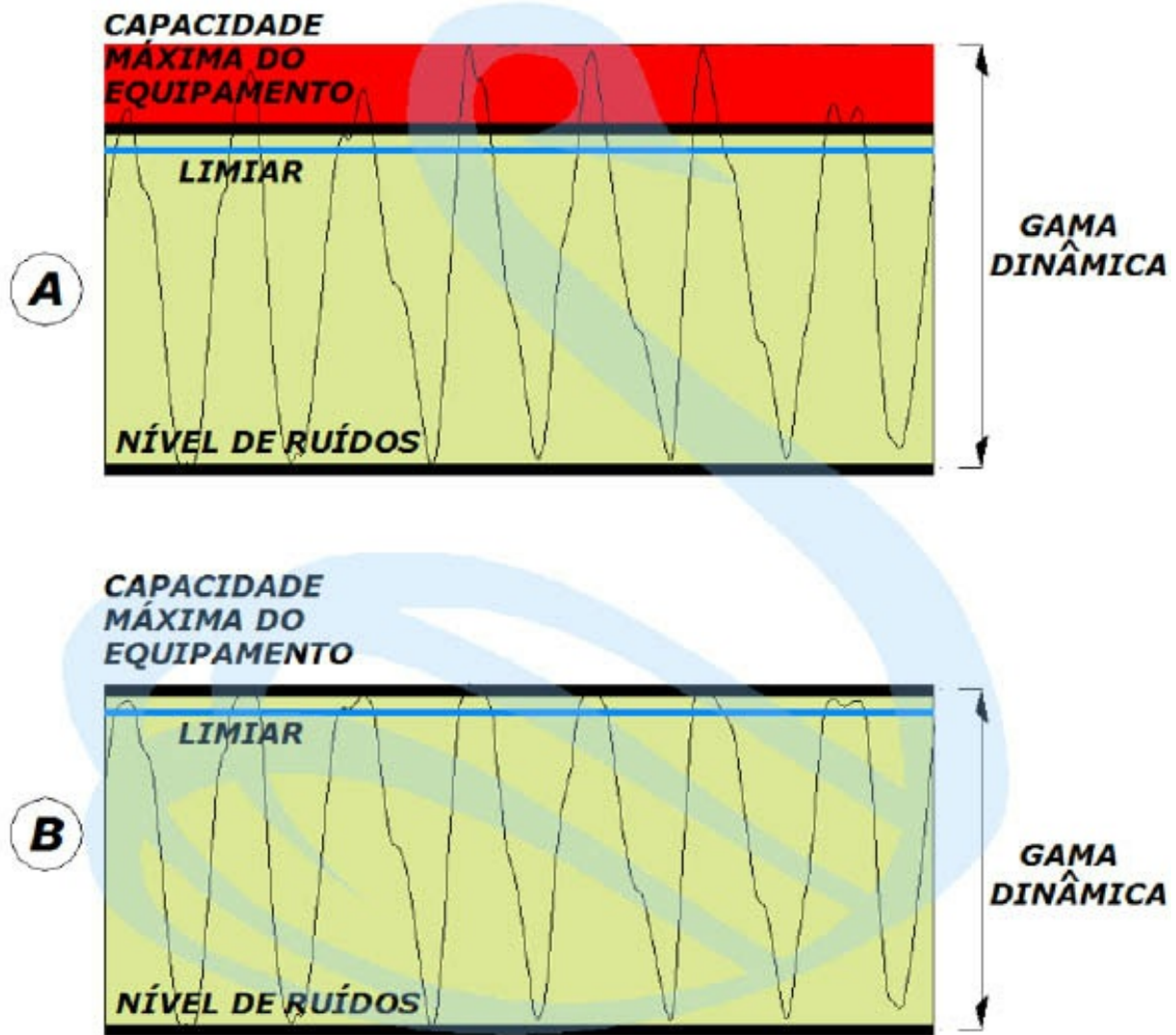


figura 4.148 o processamento limitação A. Sinal antes da limitação B. Sinal após limitação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

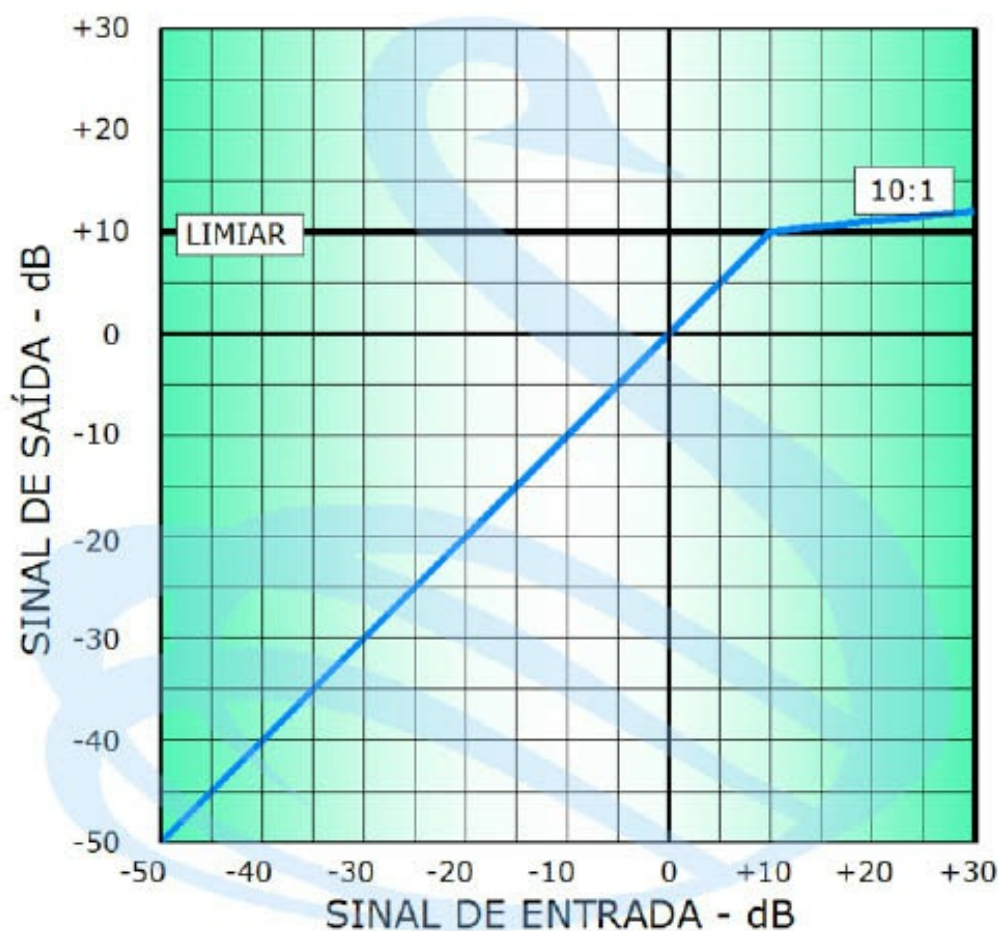


figura 4.149 ilustração de limiar e de taxa de compressão típicas de limitadores acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.148 ajuda a entender o processamento limitação.

Acima do limiar, a saída de um limitador é praticamente constante. O que é tão mais verdadeiro quanto mais elevada é a taxa de compressão utilizada.

A figura 4.149 ilustra o limiar e a taxa de compressão utilizados na limitação.

Se usados com inteligência e comedimento, os limitadores se constituem em ferramentas muito úteis para prevenir a saturação em sistemas inteiros.

Enquanto os compressores de fato reduzem a gama dinâmica de um programa, os limitadores apenas trabalham nos transientes e nos picos dos programas, geralmente todos de duração muito reduzida.

Para que possam fazer isso, o tempo de ataque dos limitadores é sempre extraordinariamente curto. Tipicamente entre 1 microssegundo e 1 milissegundo.

Há alguns equipamentos denominados compressores/limitadores. Devemos estar atentos para isso, porque há dois tipos bem diferentes desses aparelhos combinados.

Num dos tipos, o aparelho é apenas um compressor, que ou funciona como compressor, ou como limitador.

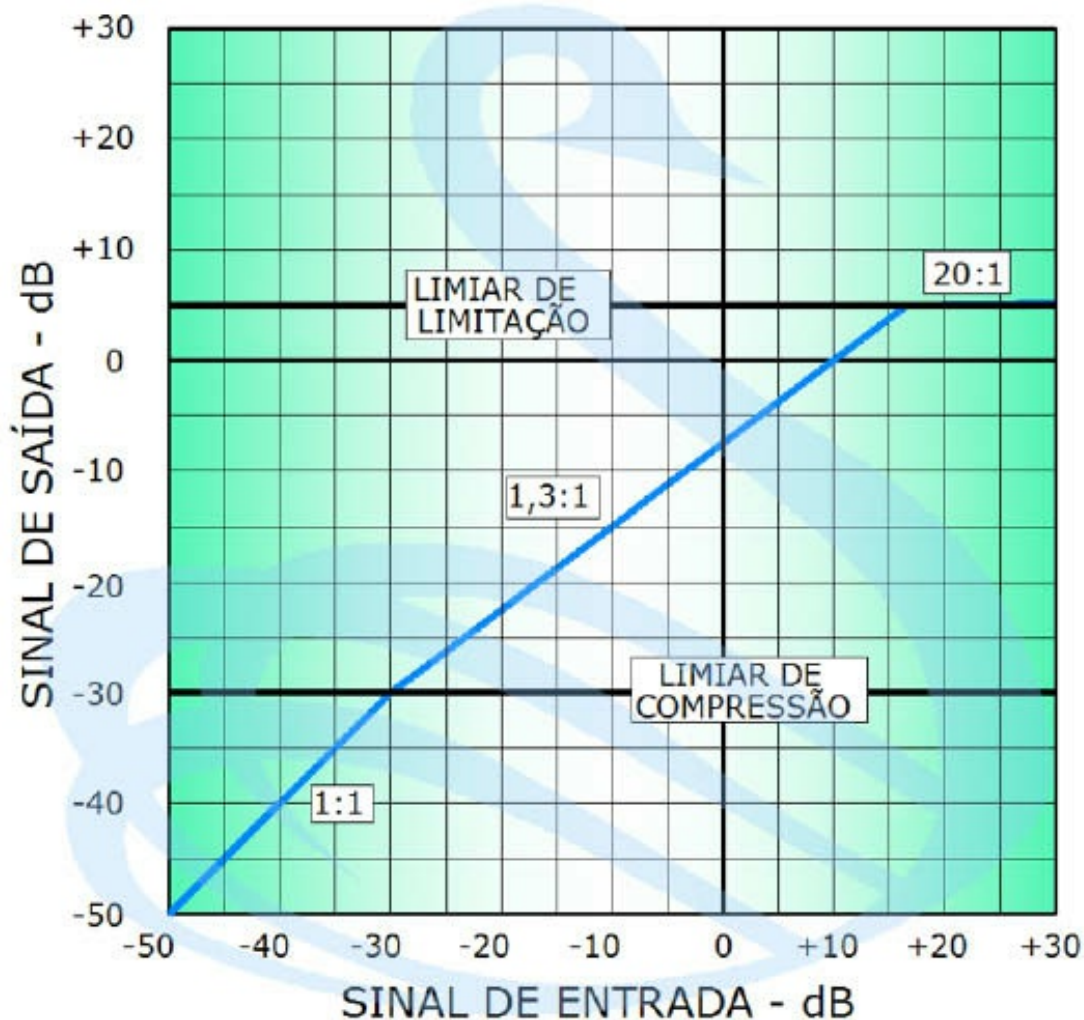


figura 4.150 compressor/limitador, com limiares e taxas de compressão independentes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quem governa o que será o aparelho são os ajustes de limiar, de tempo de ataque e da taxa de compressão.

No outro tipo, o aparelho possui dois circuitos independentes. Assim, pode funcionar como compressor e como limitador ao mesmo tempo.

Neste caso, há dois limiares individualmente ajustáveis. Um inferior, para o compressor, e outro mais elevado, para o limitador. Como sugere a figura 4.150.

Como limitador, o aparelho opera com taxa de compressão fixa mínima de 20:1. Quando a função clipper é ativada, a taxa passa a ser $\infty : 1$.

4.4.4 Expansores

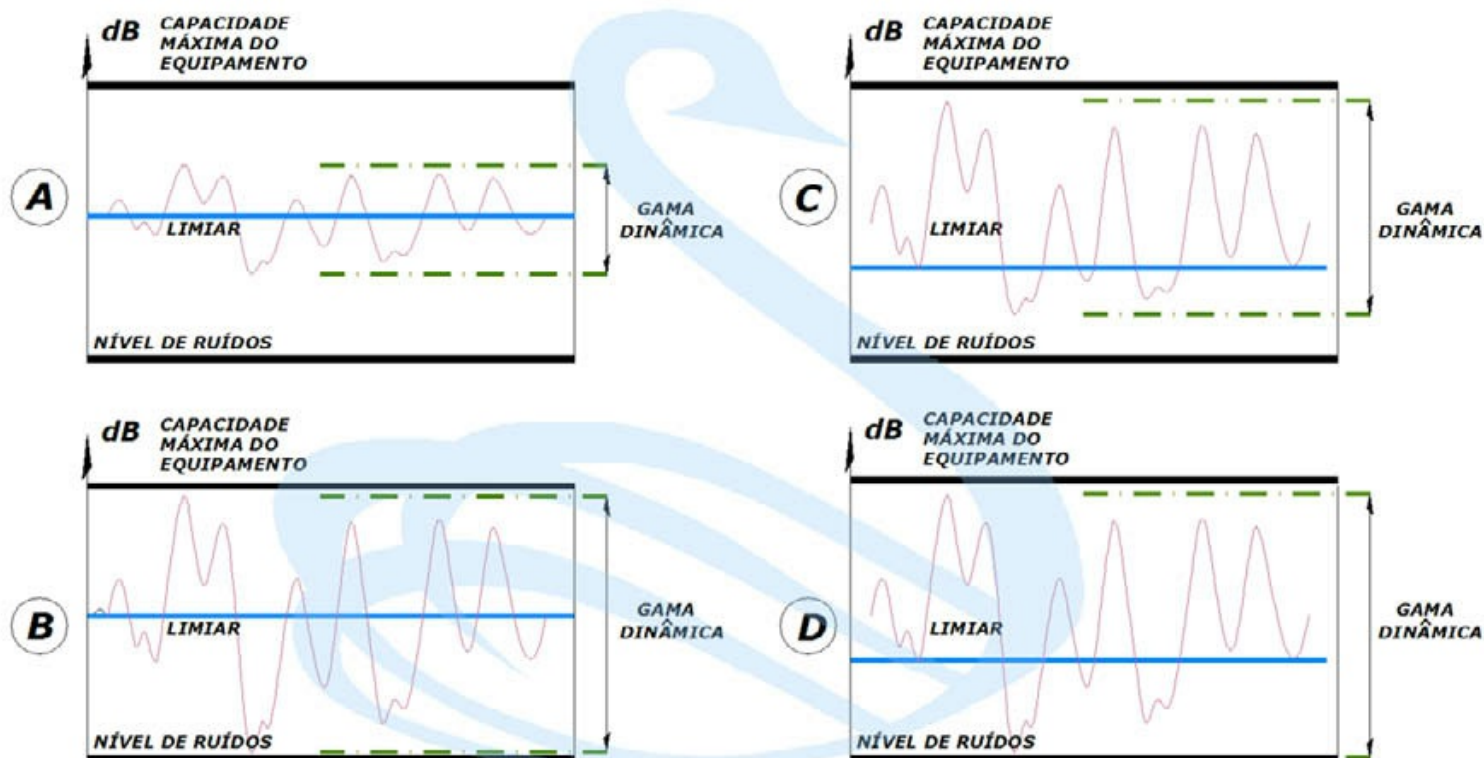


figura 4.151 formas de onda na entrada e na saída de um expansor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os expansores foram originalmente desenvolvidos para fazer o inverso do que fazem os compressores.

A figura 4.151 mostra as formas de onda na entrada e na saída de um expansor para dois casos diferentes. Esses dois casos correspondem aos dois tipos existentes de expansores. No primeiro tipo, mais completo, o processador aumenta os níveis dos sinais que estão acima do limiar, e reduz os dos que estão abaixo dele. Como nas representações 4.151A e 4.151B. No segundo tipo, o processador apenas reduz os níveis dos sinais que estão abaixo do limiar. Como ilustram as representações 4.151C e 4.151D.

As figuras mostram claramente como a gama dinâmica é aumentada nos dois casos.

Como os compressores, os expansores também possuem parâmetros ajustáveis. Entre os quais estão o limiar, a taxa de expansão e o tempo de extinção. Na grande maioria dos expansores, o tempo de ataque é fixo, em torno de 1 milissegundo. Ou então é automaticamente controlado pela dinâmica do sinal de entrada.

4.4.4.1 Limiar

Estabelecido um nível de sinal, denominado limiar (threshold), o expansor mais completo aumenta os níveis dos sinais que estão acima dele, e reduz os dos que estão abaixo dele. Assim, o limiar deve ser ajustado para um valor que se espera seja a média da gama dinâmica que se quer aumentar.

No caso do outro expansor, ele considera e trata de uma maneira os sinais que estão acima dele, e de outra os que estão abaixo, aumentando-lhes a dinâmica.

Os ajustes dos limiares dos expansores são discutidos no capítulo 12.

4.4.4.2 Taxa de Expansão

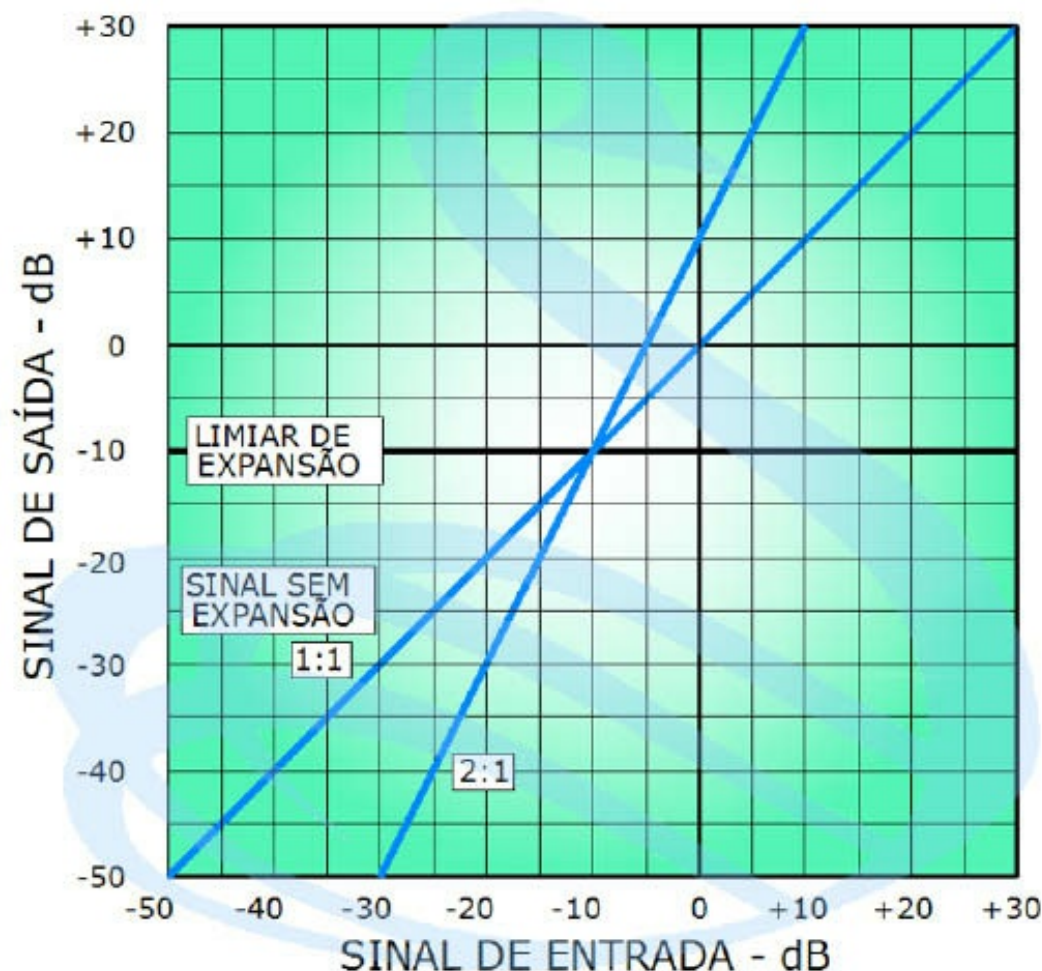


figura 4.152 ilustração de taxa de expansão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A taxa de expansão descreve a relação entre os níveis dos sinais de entrada e os de saída no processador.

Para entender melhor esse parâmetro veja a figura 4.152, que ilustra o caso de uma taxa de expansão de 2:1 de um expansor completo. Portanto, uma taxa de expansão de 2:1 significa que, quando o nível do sinal de entrada cai 1 dB abaixo do limiar, o nível do sinal de saída cai em 2 dB. E que quando o nível do sinal de entrada sobe 1 dB acima do limiar, o nível do sinal de saída aumenta 2 dB.

Para os expansores que só atuam sobre os sinais abaixo do limiar, a taxa de expansão acima do limiar é sempre 1:1, o que significa nenhuma expansão.

4.4.4.3 Aplicações dos Expansores Sozinhos, os expansores são utilizados para restaurar a gama dinâmica de programas que tenham sofrido excessiva compressão. Usados em conjunto com os compressores, eles se transformam nos compansores, assunto do item a seguir.

4.4.5 Compansores

Os compansores são processadores formados por um compressor e por um expansor.

Chamados de processadores complementares, sua aplicação principal assume a forma de redutores de ruído. O que veremos adiante neste capítulo.

4.4.6 Noise Gates

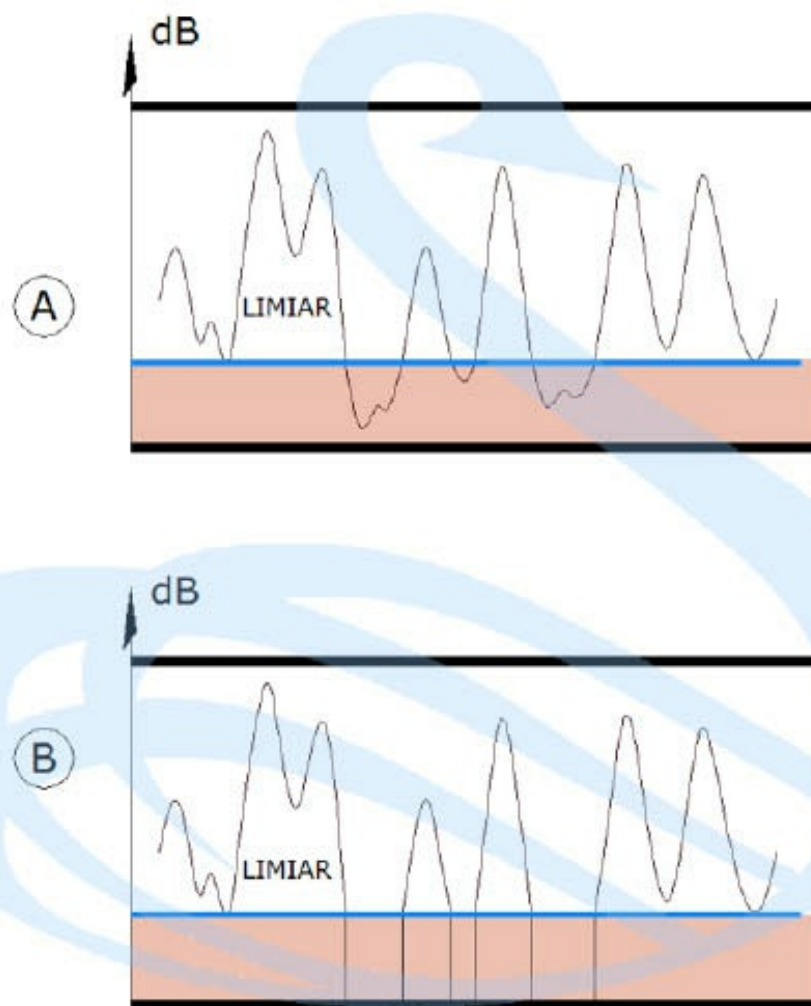


figura 4.153 formas de onda na entrada e na saída de um noise gate acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os noise gates constituem uma classe de equipamento em si. Ainda assim, eles são apenas um caso especial de aplicação de expansor. Do tipo que só atua sobre os sinais abaixo do limiar.

Vamos imaginar alguém fazendo um discurso para um grande público através de um microfone.

Podemos distinguir claramente os momentos de fala dos de pausa. Se o microfone continua aberto nos momentos de pausa, o campo de som ao seu redor é amostrado, convertido em sinais de áudio pelo microfone, e entregue ao sistema eletroacústico.

Que o amplifica e reproduz pelos alto-falantes, na forma de ruído.

Portanto, algo não desejado.

O que fazer para evitar isso? Bem, uma das maneiras é pedir ao operador que mantenha o microfone aberto só nos momentos de fala. Portanto, que o deixe fechado durante todos os momentos de pausa.

Se pensarmos um pouquinho em como nosso operador teria que fazer para que fossemos atendidos, certamente estaremos de acordo que nenhum operador gostaria de realizar essa tarefa.

Creio que qualquer deles alegaria que a missão seria demasiado ingrata, e o trabalho teria uma margem enorme para que erros grosseiros sejam cometidos.

Essa tarefa é exatamente o que faz um noise gate.

A figura 4.153 procura mostrar as formas de onda na entrada e na saída de um noise gate. Vemos que quando os sinais são débeis, o processador os atenua, podendo chegar a suprimi-los, e quando eles são elevados, o processador permite sua passagem, sem quaisquer interferências. É como se o processador fosse um seletor liga-desliga, de ação automática. Ora ligado, estabelecendo um caminho para os sinais, e ora desligado, obstruindo seu caminho.

O objetivo é impedir a passagem dos sinais com amplitude abaixo de um determinado limite, supostamente considerado ruído.

4.4.6.1 Limiar

O gate é um dispositivo de dois estados. Sem presença de sinais ele está em sua condição de gate fechado, impedindo a passagem dos sinais. Quando o sinal aumenta de nível, o gate é acionado (triggered), e passa a seu estado aberto, permitindo a passagem dos sinais.

Definitivamente, há sempre um limite abaixo do qual o noise gate está fechado, e acima do qual ele está aberto.

Esse limite é chamado limiar (threshold). O limiar de um noise gate é sempre ajustável dentro de uma ampla faixa de valores.

4.4.6.2 Taxa de Expansão A taxa de expansão de um noise gate é exatamente como a de um expensor que só atua nos sinais que estão abaixo do limiar.

Desse modo, taxa de expansão de 4:1 significa que quando o nível do sinal de entrada cai 1 dB abaixo do limiar, o nível do sinal de saída cai em 4 dB.

Acima do limiar, a taxa de expansão é sempre 1:1, significando nenhuma expansão.

4.4.6.3 Atenuação (attenuation), Faixa (range), ou Profundidade (depth)

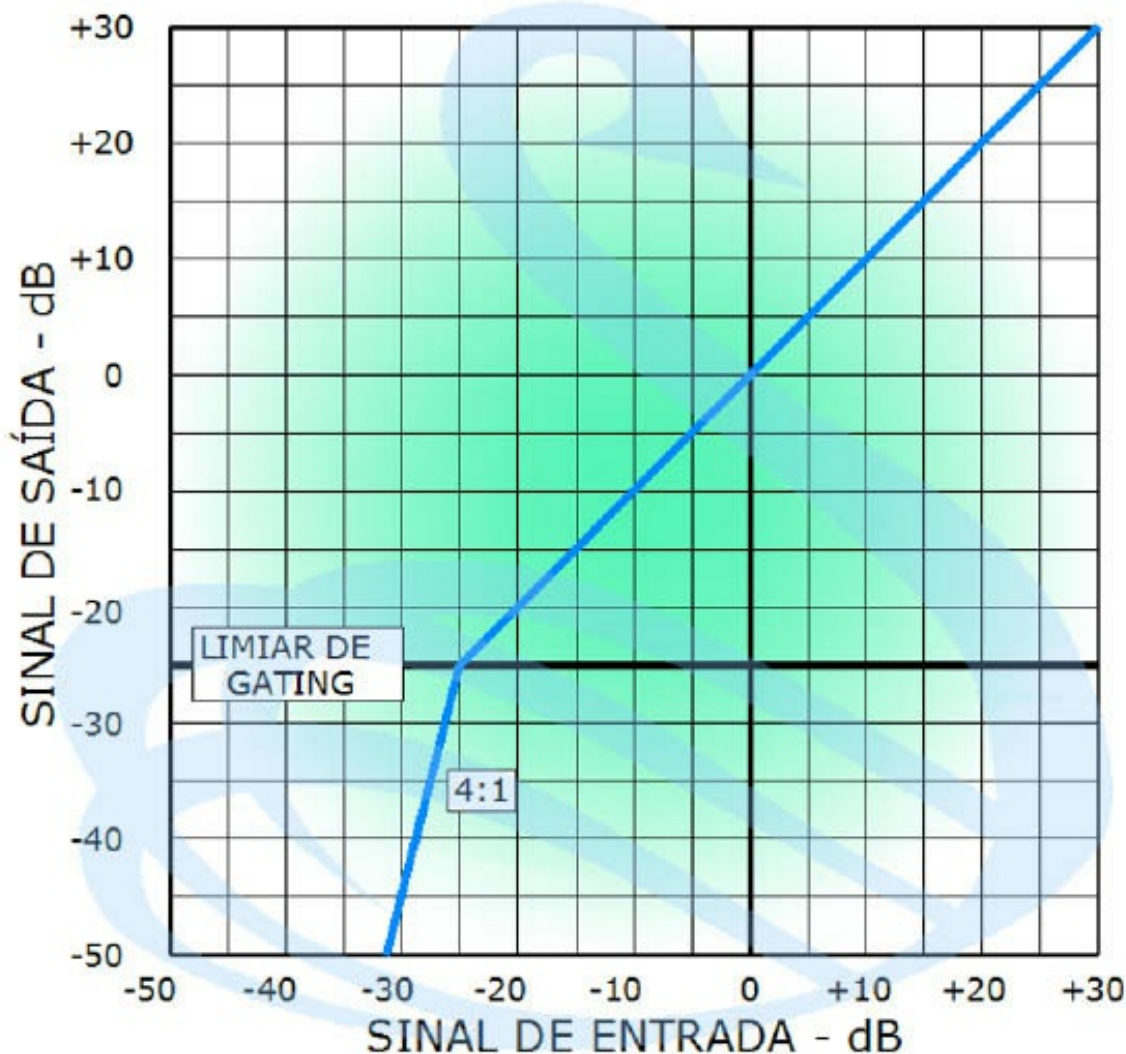


figura 4.154 ilustração de limiar, de taxa de expansão e de atenuação dos noise gates acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Em alguns processadores não há controle do grau de atenuação. E desse modo, o processador pode simplesmente impedir totalmente a passagem dos sinais.

O ruim disso é que, nesses casos, geralmente a mudança de estado se faz acompanhar de um ruído audível.

O controle do grau de atenuação, que ajuda a evitar tais ruídos, permite que ajustemos a máxima atenuação imposta aos sinais quando o gate está fechado. Na maioria dos processadores a atenuação pode ser ajustada desde zero até um máximo de 80,0 a 90,0 dB.

Noto uma certa dificuldade de visualização desse parâmetro, especialmente quando também se pensa na taxa de expansão.

Por isso, creio que o melhor é tentarmos eliminar quaisquer dúvidas possíveis agora mesmo.

Imagine que tenhamos ajustado uma taxa de expansão de 8:1 em nosso noise gate. Com atenuação infinita, quando o sinal de entrada for 1 dB inferior ao limiar, a saída cairá 8 dB. E se o sinal de entrada for 20 dB inferior ao limiar, o sinal de saída cairá 160 dB. Mas se ajustarmos uma atenuação de 40 dB, essa será a atenuação máxima imposta ao sinal de saída, independentemente de que taxa de expansão seja ajustada.

Assim, com taxa de expansão de 8:1, e atenuação de 40 dB, quando o sinal de entrada for 2 dB inferior ao limiar, o sinal de saída cairá em 16 dB. E quando o sinal de entrada for 5 dB

inferior ao limiar, o sinal de saída cairá em 40 dB.

E agora, este nível passa a ser um limite inferior estabelecido pelo ajuste da atenuação. Portanto, para quaisquer sinais de entrada com níveis inferiores a 5 dB abaixo do limiar, não haverá sinais de saída atenuados em mais do que os 40 dB.

Podemos entender então que a atenuação impõe uma limitação, que atua sobre a taxa de expansão ajustada.

A figura 4.154 ilustra o limiar, a taxa de expansão e a atenuação no caso de um noise gate.

4.4.6.4 Tempo de Ataque O tempo de ataque é o tempo que o gate demora para abrir totalmente, contado a partir do momento em que, ultrapassando o limiar, o sinal aciona o processador. Nos melhores processadores o tempo de ataque é continuamente ajustável, tipicamente de 5 microssegundos a 300 milissegundos.

Naturalmente, poder ajustar esse tempo é uma condição ideal. Mas em alguns noise gates, apenas se pode escolher entre duas alternativas de tempos, geralmente denominadas “fast” e “slow”.

4.4.6.5 Tempo de Hold Tempo de hold é o tempo que o gate é forçado a permanecer totalmente aberto, a contar do instante em que o sinal cai abaixo do limiar.

Raciocinemos agora em função de alguém que fala ao microfone. Há intervalos entre palavras, encontrados em quaisquer frases. Há intervalos mais pronunciados entre frases, como os que levamos para respirar.

E há intervalos relativamente longos, seja porque o orador vira a página de um texto escrito, que está sendo lido, seja porque o orador, falando de improviso, está organizando mentalmente como vai abordar e desenvolver uma determinada ideia.

Há também as pausas maiores, como quando um orador vai substituir o anterior, ou mesmo em casos de eventos, quando o orador se desloca do microfone para cumprimentos ou fazer premiações, ou quando o orador apenas espera enquanto um outro indivíduo faz isso.

É exatamente o ajuste do tempo de hold que nos possibilita impedir que o processador feche o gate durante intervalos muito curtos, como pausas de respiração.

Os ajustes de tempo de hold estão tipicamente entre 5 milissegundos e 4 segundos.

4.4.6.6 Tempo de Recuperação (Release ou Recovery Time) O tempo de recuperação é o tempo que o processador leva para passar da condição de aberto para a de fechado, ou de atenuado.

Esse tempo é contado a partir do exato momento em que o sinal de entrada volta a ser

inferior ao limiar, mais o tempo de hold ajustado.

Por permitir uma passagem gradual de um a outro estado, esse ajuste ajuda a evitar ruídos que seriam audíveis no caso de uma mudança brusca de estado por comutação simples, ou mesmo no caso de uma mudança praticamente instantânea.

4.4.6.7 Vendo a Sequência Completa

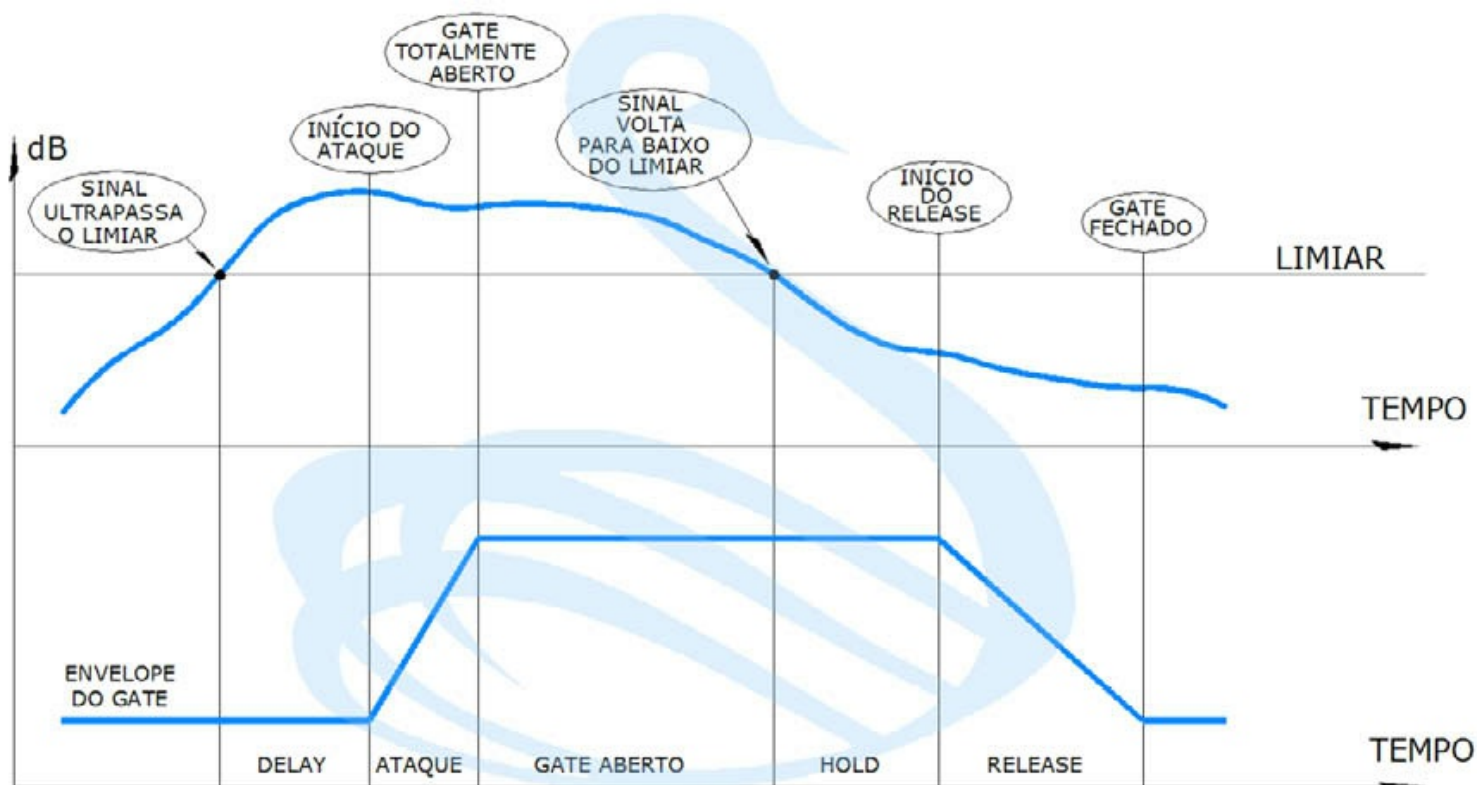


figura 4.155 sequência de tempos num noise gate acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nem sempre é fácil entender a sequência completa dos diversos tempos atribuídos aos parâmetros de um noise gate.

Também não é fácil compreender porque alguns parâmetros devem ser necessariamente ajustados incondicionalmente, a exemplo do tempo de ataque, porquanto outros podem ser eventualmente inibidos, a exemplo do hold.

A figura 4.155 nos ajuda a ter uma ideia de conjunto de todos esses parâmetros e seu interrelacionamento.

4.4.6.8 Cadeia Lateral e Filtros

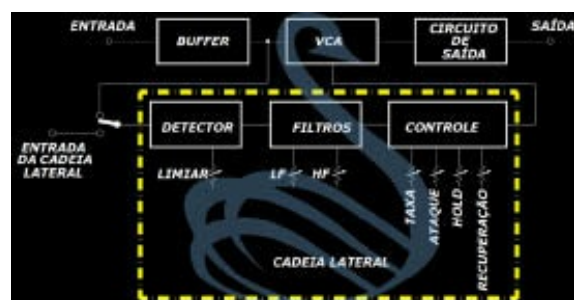


figura 4.156 diagrama básico de um noise gate acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como os compressores, os expansores e os noise gates também são amplificadores que alteram o ganho (amplificação) dos sinais em função de um determinado limite, o limiar.

Anteriormente, para discutirmos o que é a entrada de cadeia lateral, vimos diagrama

simplificado de um compressor. Agora, vemos na figura 4.156 o diagrama simplificado de um noise gate, no qual também aparece a cadeia lateral. Este diagrama é tão semelhante ao do compressor, que praticamente é desnecessário descrevê-lo.

O que nos importa agora é observar que, através de um seletor, a saída do buffer de entrada é endereçada para um detector de áudio, que é o primeiro estágio da cadeia lateral. Como no caso dos compressores, sua função ainda é detectar o nível ajustado como limiar, para determinar se o ganho do aparelho deve ou não ser alterado. A saída do detector é encaminhada para o estágio de controle, onde são estabelecidos os parâmetros taxa de expansão, tempo de ataque, tempo de hold e tempo de recuperação. Assim, o sinal de saída desse estágio é a voltagem de controle que comanda o VCA de acordo com os parâmetros ajustados pelo usuário.

Como antes, é fácil perceber que, com a posição do seletor indicada na figura, o sinal de controle do noise gate é uma amostra do próprio sinal de entrada do processador. Entretanto, o seletor pode ser comutado para que o controle do processador seja exercido por um sinal externo.

E esta entrada da cadeia lateral dos noise gates é ainda mais importante que as correspondentes nos compressores.

Veremos o porquê disso nas linhas seguintes. E ainda aqui, sua função é conduzir os sinais de controle que comandam a atuação do processador.

Muitos gates já possuem filtros incorporados na cadeia lateral, geralmente um para as baixas frequências, e outro para as altas. Eventualmente os filtros não integrantes da cadeia lateral, e podem ser alocados à ela, ou ao próprio caminho principal dos sinais de áudio. Os três estágios superiores na figura 4.156.

Quando alocados à cadeia lateral, os filtros servem para que possamos formatar os sinais que vão controlar o processador, removendo-lhes as bandas de frequências que não queremos que exerçam controle sobre o processador.

E por fazermos isso na cadeia lateral, não estaremos aplicando qualquer filtragem aos sinais processados, obtidos na saída do noise gate.

Esses filtros geralmente trabalham com taxas de atenuação fixas, de 12,0 ou 18,0 dB/oitava. Suas frequências geralmente podem ser ajustadas entre 100 Hz e 20 kHz, para o filtro HF (high filter), ou passa baixas, e entre 25 Hz e 6 kHz para o filtro LF (low filter), ou passa altas.

4.4.6.9 Funções Automáticas Como nem sempre é fácil ajustar os parâmetros dos noise gate, muitos desses processadores possuem funções automáticas, no que eles são semelhantes aos compressores.

4.4.6.10 Aplicação dos Noise Gates Do mesmo modo que ocorre com os compressores, provavelmente até mesmo mais, as aplicações dos noise gates são tantas que seria impossível tratá-las por completo neste trabalho. Portanto, vamos discutir apenas as principais delas.

Como os compressores, os noise gates podem ser usados individualmente, para cada instrumento ou voz, para grupos deles, e também, para processar o programa como um todo.

E ainda como no caso dos compressores, os noise gates podem ser usados seletivamente, por frequências.

Vamos discutir as aplicações dos noise gates organizadas na seguinte ordem: redução de ruído processando voz ou instrumento individualmente, reduzindo a quantidade de microfones simultaneamente abertos, evitando vazamentos em gravações e reproduções, criando efeitos especiais, uso com compressores, reduzindo ruído em gravações multipistas, sincronizando instrumentos, e “ducking”.

redução de ruído processando voz ou instrumentos individualmente Anteriormente imaginamos alguém fazendo um discurso para um grande público através de um microfone. E vimos que é possível distinguir claramente os momentos de fala dos de pausa.

Vimos também que se o microfone permanece aberto nos momentos de pausa, o campo de som ao seu redor é amostrado e convertido em sinais de áudio pelo microfone, e finalmente, entregue ao sistema eletroacústico. Que o amplifica e reproduz pelos alto-falantes, na forma de ruído.

Podemos ajustar o limiar dos noise gates para que eles não atenuem na parte vocal captada, mas tão somente sobre os ruídos captados nos momentos de pausa. Quando o limiar é ajustado muito baixo, o processador fica sem função. E quando ele é ajustado para figuras muito elevadas, parte do vocal é removido ou muito atenuado.

Para o caso de voz, o tempo de ataque não deve ser muito curto porque o ataque da voz humana é relativamente lento. Mas se o ajuste for muito longo, poderemos estar removendo material que não deveríamos. Para casos de instrumentos musicais de percussão, caracterizados por transientes muito velozes, o tempo de recuperação é geralmente ajustado para ser muito reduzido, podendo ser mais algo mais longo para instrumentos com manutenção de sons por períodos mais prolongados.

Em estúdios, o uso do noise gate com voz é capaz de prevenir a gravação de sons espúrios, como os provenientes dos fones de ouvido, ambiência não desejadas, e respirações do vocalista.

O ajuste do tempo de hold se faz de acordo com a aplicação. Por exemplo, para discursos, ele pode ser ajustado para valores como 1 a 3 segundos.

O ajuste do tempo de recuperação se faz à luz dos envelopes dos sinais processados.

Tudo isso que acabamos de discutir para voz é integralmente aplicável a qualquer instrumento musical.

reduzindo a quantidade de microfones simultaneamente abertos No capítulo 6 veremos porque é importante manter fechados todos os microfones não utilizados num sistema. O que vale para gravações e para reforço de música ao vivo.

O operador pode tentar manter fechados os microfones sem uso num sistema. Mas geralmente isso é impraticável, porque as antecipações de que microfones estarão sendo usados, e quais não, a cada momento, é geralmente impossível.

Mas com os noise gate é possível obter uma situação equivalente a essa, mesmo que os microfones sejam mantidos abertos no mixer.

Neste caso, é preciso usar um processador para cada microfone, e ajustar cada um deles de acordo com seu uso. Essa aplicação dos noise gate é válida tanto para microfones utilizados com voz, quanto para os utilizados com instrumentos musicais.

evitando vazamentos em gravações e reproduções Nos casos de gravações feitas com muitos microfones, qualquer microfone aberto está sujeito a vazamentos. Por exemplo, os microfones utilizados com naipes de cordas, que são usualmente operados com níveis muito elevados de amplificação. E assim, estão estabelecidas as condições básicas e propícias para vazamentos em grau elevado.

Vamos ver então como podemos usar os noise gates para evitar o inconveniente.

É extremamente importante que um noise gate ataque quando o microfone começa a produzir sinal, por atuação do instrumento musical ou vocal associado a ele. Por outro lado, é indesejável que o processador ataque porque outro instrumento ou vocal tenha vazado para o microfone atendido por aquele noise gate.

Vamos a um exemplo clássico, pensando em apenas duas peças de uma bateria. Queremos usar um microfone para captar a caixa, e outro para captar o chimbáu. E trabalhar com um noise gate para cada microfone. O objetivo é evitar vazamentos. Entretanto, quando vamos ajustar os limiares, sentimos uma dificuldade terrível. Porque, estando muito próximos, o chimbáu e a caixa produzem níveis de pressão sonora aproximadamente semelhantes para os dois microfones.

Como resolver?

Usando as cadeias laterais dos dois processadores, com os respectivos filtros alocados à elas.

No noise gate que atende a caixa, trabalhamos com os filtros de modo que o programa de controle seja principalmente o conteúdo daquele instrumento. E faremos o mesmo com o noise gate do chimbáu, para que o programa de controle seja principalmente o conteúdo do chimbáu.

Conseguiremos isso se deixarmos o filtro LF do noise gate que atende à caixa atenuando frequências abaixo de 40 Hz, e o filtro HF atenuando frequências acima de 1 kHz. Do mesmo modo, para o noise gate que atende ao chimbáu, deixamos o filtro LF atenuando frequências abaixo de 1 kHz, e o filtro HF atenuando frequências acima de 15 kHz.

Dessa maneira, o processador alocado à caixa não atacará quando o chimbáu tocar, pois seu ataque só será ativado pelo espectro da caixa, que será o único programa reconhecido. E pelo mesmo motivo, o processador alocado ao chimbáu só atacará quando o chimbáu tocar.

Essa mesma técnica pode ser aplicada à exaustão para evitar vazamentos em geral.

criando efeitos especiais Os efeitos especiais podem ser criados com os noise gates porque esses processadores possibilitam o redesenho dos envelopes dos sons. Como mostra a figura 4.157.

Além disso, efeitos como o “gated reverb”, este muito popular atualmente, podem ser facilmente criados com um noise gate.

Suponha que estejamos captando uma caixa de bateria com dois microfones. Um deles muito próximo do instrumento, captando principalmente sons diretos.

O outro, relativamente afastado do instrumento, captando pouco os sons diretos, e uma proporção elevada de campo reverberante.

Os sinais dos dois microfones são encaminhados para um mixer. Um noise gate é inserido no canal do mixer que atende ao microfone distante.



figura 4.157 possibilidade de redesenho dos envelopes dos sons com os noise gates acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ao mesmo tempo, uma amostra do sinal do microfone próximo, por exemplo através de uma saída direta do canal do mixer que o atende, é levada para a entrada da cadeia lateral do noise gate. Portanto, os sinais correspondentes ao encontro da baqueta com a pele da caixa estabelecerão o momento do início do ataque do processador.

Como mostra a figura 4.159.

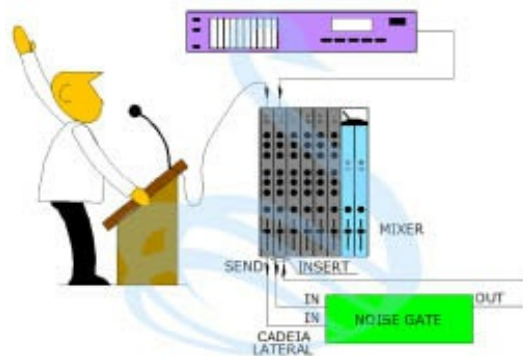


figura 4.159 ilustração de como obter a função ducking com um noise gate acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.160 mostra o aspecto de um noise gate.



Figura 4.160 aspecto do noise gate BSS, modelo DPR-522
Cortesia BSS

4.4.7 Delayers e Unidades de Reverberação

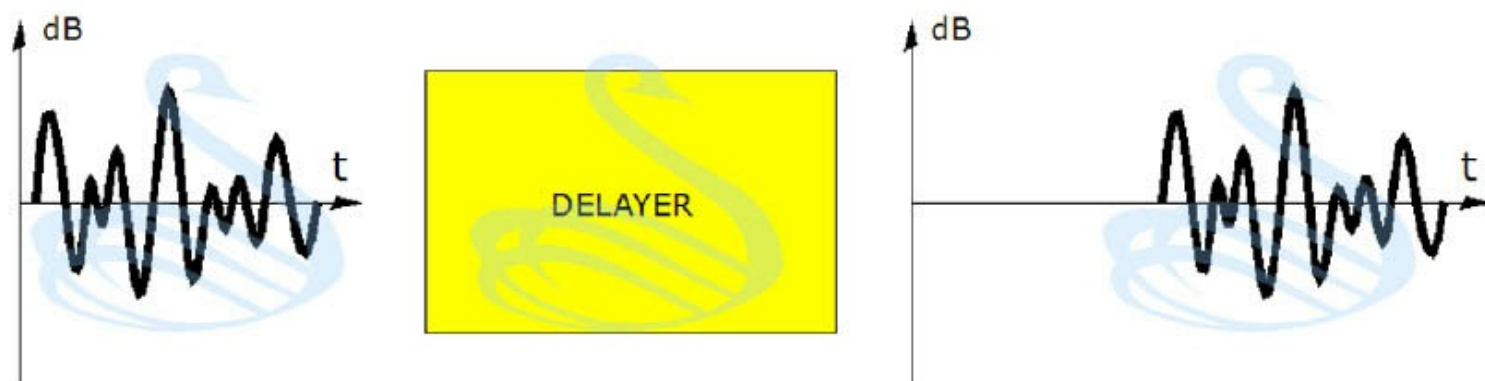


figura 4.161 formas de onda na entrada e na saída de um delayer acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Delayers são aparelhos projetados para promover atraso artificial nos sinais de áudio. Há vários modelos disponíveis no mercado, e eles tanto podem empregar técnicas analógicas quanto digitais. Neste último caso, as preferências recaem na modulação delta e no PCM (Pulse Code Modulation).

Atualmente os aparelhos mais comuns são os digitais, e eles processam os sinais de entrada, codificando-os, para registrá-los em memórias digitais, e reproduzi-los em momento posterior. Como ilustra a figura 4.162.

O parâmetro ajustável mais importante de qualquer delayer é o tempo de atraso. Nos melhores produtos a resolução de ajuste está entre 1 e 10 microssegundos.

A capacidade de promover atrasos tão curtos é um recurso essencial em grande parte das aplicações de atraso em áudio profissional. Mas também devemos estar atentos para a capacidade do tempo máximo de atraso. Por exemplo, num campo de futebol típico, com arquibancadas, geralmente lidamos com atrasos elevados, de 1 segundo ou mais.



figura 4.162 delayer digital Klark Teknik, modelo DN7204

cortesia Klark Teknik Portanto, numa aplicação dessas, só podemos pensar em delayers que possuem capacidade de atraso de 2 ou mais segundos. E há casos de necessidade de atrasos superiores a 4 ou 5 segundos.

Muitos produtos funcionam como uma linha de atraso. Ou seja, há uma só entrada e uma só saída, na qual temos o sinal com atraso. Outros produtos, mais versáteis, possuem várias saídas, de forma que é possível programar diferentes atrasos para cada uma delas.

Nos melhores delayers, os tempos de atraso podem ser programados diretamente. Mas alguns deles calculam automaticamente os tempos de atraso a partir da simples informação das distâncias envolvidas, dadas pelo usuário à máquina. Alguns desses aparelhos operam em conjunto com termômetros digitais, que assim podem ajustar os atrasos em função das variações da velocidade do som no ar, que decorrem das mudanças de temperatura.

Muitos são os delayers com respostas de frequência limitadas. Atualmente não devemos nos contentar com nada menos do que 20 Hz a 20 kHz, $\pm 0,5$ dB.

Outra especificação com a qual precisamos nos preocupar com esses processadores é a gama dinâmica. Para aplicações gerais devemos optar por figuras não inferiores a 105,0 dB.

O delayer da figura 4.162 é um processador com capacidade de duas entradas e quatro saídas. Elas podem ser combinadas para processar um sinal estereofônico de 2 canais, com até 2 saídas cada um, ou processar um sinal monofônico, nesse caso com até 4 saídas.

Essas saídas são todas independentes, e a taxa de amostragem efetiva desse aparelho é 200 kHz.

Vimos que quando o sinal atrasado é ouvido após um certo tempo contado do momento da audição do sinal sem atraso, nossos ouvidos não conseguem mais fundi-los num só sinal. E aí ouvimos dois sons distintos. O sinal original e sua repetição. Efeito denominado eco.

Esse efeito pode ocorrer por causas naturais ou por meios artificiais.

Visualize o quadro que já havíamos pintado anteriormente.

Alguém está em pé numa área plana, com 50,0 metros de afastamento de um muro muito alto. Se essa pessoa gritar, se ouvirá quase que no mesmo instante em que o som é produzido.

E se ela ouvir a reflexão do seu próprio grito no muro, haverá um atraso de aproximadamente

$$100 \text{ metros} \div 344 \text{ metros/segundo} \approx 291 \text{ milissegundos}$$

Veremos que esse tempo é mais do que suficiente para que o efeito eco seja ouvido de modo muito pronunciado. Este é um exemplo clássico de eco natural.

Por outro lado, basta que combinemos o sinal direto em curso por uma console de mixagem com o sinal atrasado por um delayer para termos o eco artificial. Como ilustra a figura 4.163.

Os aparelhos denominados unidades de reverberação são apenas delayers, de cujas saídas são tomadas amostras de sinal já atrasado para reinjeção na entrada.

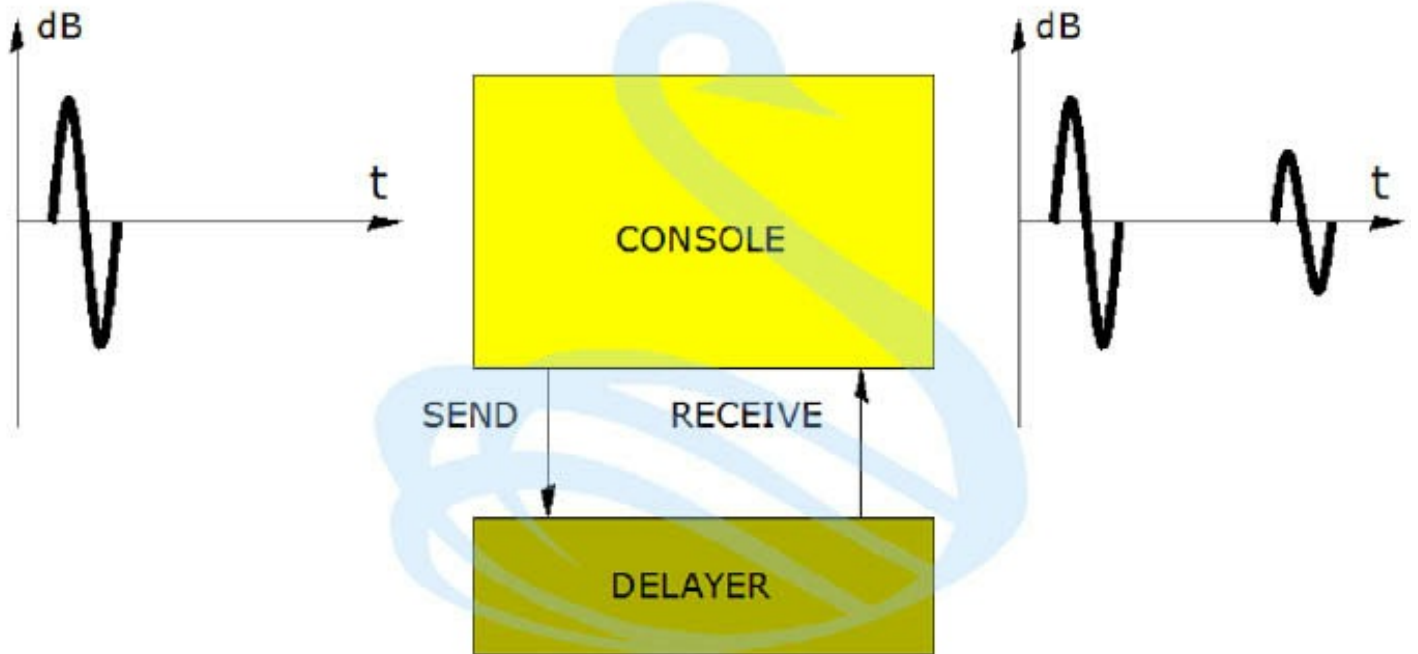


figura 4.163 formas de onda obtidas por combinação de um sinal direto com um sinal atrasado por um delayer acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essa técnica, chamada de recirculação, ou regeneração, ou ainda feedback, cria o efeito de produzir repetições com espaçamentos aproximadamente iguais entre si, e com amplitude decrescente a cada nova geração de repetição.

Tal como ilustra a figura 4.164. Assim, esses aparelhos são empregados para simular as reverberações típicas de ambientes fechados.



figura 4.164 formas de onda obtidas na saída de uma unidade de reverberação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 4.4.8 Redutores de Ruído Em quaisquer gravações feitas com gravadores de fita magnética, o próprio processo de gravação introduz alguns tipos de ruídos, sendo o chiado de fita (tape hiss) o mais incômodo e conhecido deles.

E isso, independentemente dos níveis de ruído característicos dos sinais encaminhados para a gravação.

Além disso, os gravadores de fita magnética jamais primaram por apresentar relações sinal/ruído elevadas. Como resultado, por muito tempo as fitas magnéticas gravadas ou copiadas exibiram níveis de ruído elevado, particularmente audível nas passagens de baixos níveis.

A disseminação do uso de máquinas multipistas em gravações com grande quantidade de canais agravou o problema, uma vez que o nível de ruído aumenta 3,0 dB cada vez que se dobra o número de pistas utilizadas.

É bem verdade que a tecnologia permitia o desenvolvimento de gravadores cada vez mais silenciosos. Mas os preços muito elevados se faziam acompanhar por apenas pequenos aumentos da relação sinal/ruído. Enquanto isso, o mercado se ressentia da falta de um recurso capaz de, ao menos, amenizar o inconveniente.

4.4.8.1 Dolby

Felizmente já há algum tempo o Dr. Ray Dolby, da Dolby Laboratories, vinha pensando nesses problemas, e em como superá-los. Até que foi anunciado o primeiro sistema redutor de ruídos realmente eficiente, desenvolvido pela Dolby Laboratories. Denominado Dolby A, o sistema fora concebido para ser usado em gravações de fita magnéticas. O projeto foi exclusivamente orientado para aplicações profissionais.

O sistema é do tipo complementar. Isso é, os sinais são processados imediatamente antes da gravação, e sofrem processamento inverso durante a reprodução. E com isso os ruídos são reduzidos.

O processamento antes da gravação inclui duas etapas.

Na primeira os sinais são divididos em três partes, correspondentes a três segmentos do espectro de áudio. A seguir, os sinais são comprimidos. E essa compressão é feita de modo independente para cada um dos três segmentos do espectro.

Mas, além disso, não são todos os sinais que são comprimidos.

O sistema faz um rastreio permanente dos sinais a serem gravados e procura por aqueles com baixos níveis e que estão na região onde os ruídos são mais facilmente percebidos. Neste caso, baixos níveis são quaisquer valores abaixo de -10,0 VU.

Na ocasião do lançamento, o Dr. Ray Dolby explicou que em suas pesquisas ficara demonstrado que os sinais com níveis mais elevados já mascaravam suficientemente os ruídos de gravação.

E assim só os sinais de níveis mais baixos precisavam ser comprimidos. Tanto mais quanto menor fossem os níveis dos sinais.

Durante a reprodução, o sistema expande os sinais de modo exatamente inverso à compressão imposta durante a gravação. O resultado é que abaixo de 5 kHz o sistema Dolby A reduz os ruídos em 10,0 dB, e na região de 15 kHz a redução atinge 15,0 dB.

Logo, o sistema redutor de ruídos Dolby A não processa os sinais apenas em função de seus níveis. De fato, ele também depende de um filtro passa banda variável que é

eletronicamente controlado, o qual permanece ativo durante todo o processo.

Por isso, o sistema é classificado como totalmente dinâmico. E por essa razão, exige que antes da gravação do programa propriamente dito, a fita seja gravada com um tom especial de calibração, chamado tom Dolby. Ele é gerado por um oscilador do próprio sistema Dolby, e ao ser gravado estabelece uma referência para o ajuste de limiar do sistema. Assim, durante a reprodução, o tom Dolby é usado para ajustar o nível de reprodução. O ajuste é muito simples, porque toda a calibração se resume em obter a coincidência da indicação da marca Dolby no medidor VI, lá existente para essa precípu finalidade.

Entretanto, uma vez que possíveis erros de calibração afetam apenas os sinais de baixos níveis, implicando numa dificuldade natural para a detecção dos resultados audíveis decorrentes, há sempre uma certa margem para erros nesse ajuste.

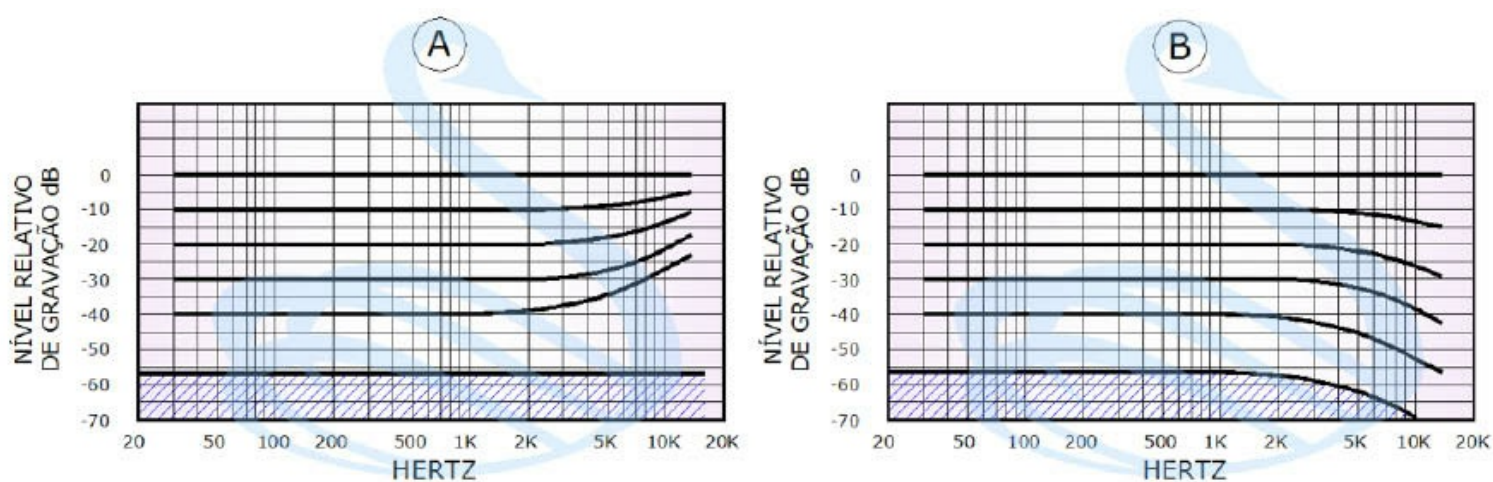


figura 4.165 o sistema Dolby B e a compressão e expansão impostas aos sinais (A) curvas de compressão dos sinais (codificação). A parte hachurada representa ruídos (B) curvas de expansão complementar dos sinais (decodificação). A parte hachurada representa os ruídos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Depois do Dolby Aveio o Dolby B. Este também é um sistema do tipo complementar. Trata-se de uma versão de baixo custo, projetada especificamente para uso em decks cassete. Nesta versão não há mais divisão de espectro, e o sistema redutor opera apenas em altas frequências. A redução de ruído obtida é da ordem de 10,0 dB.

A figura 4.165 mostra as curvas de compressão e de expansão impostas pelo sistema Dolby B aos sinais. Nota-se a representação dos ruídos na parte inferior da figura, e como eles acabam sendo reduzidos.

Algun tempo depois de sua introdução no mercado, o sistema Dolby B foi modificado e passou a incorporar a circuitação HX.

O objetivo, de excelentes resultados práticos, foi aumentar a margem (headroom) da programação.

Depois da versão B a Dolby Laboratories lançou a versão C, com a finalidade de contar com uma versão doméstica com mais capacidade de redução de ruído, e ainda, de baixo custo. Para tanto, a versão C opera num segmento mais amplo do que a versão B.

A rigor, a versão C é composta por dois redutores Dolby B ligados em série. E a redução

de ruído obtida chega a atingir 20,0 dB. A figura 4.166 compara as curvas dos redutores Dolby B e C.

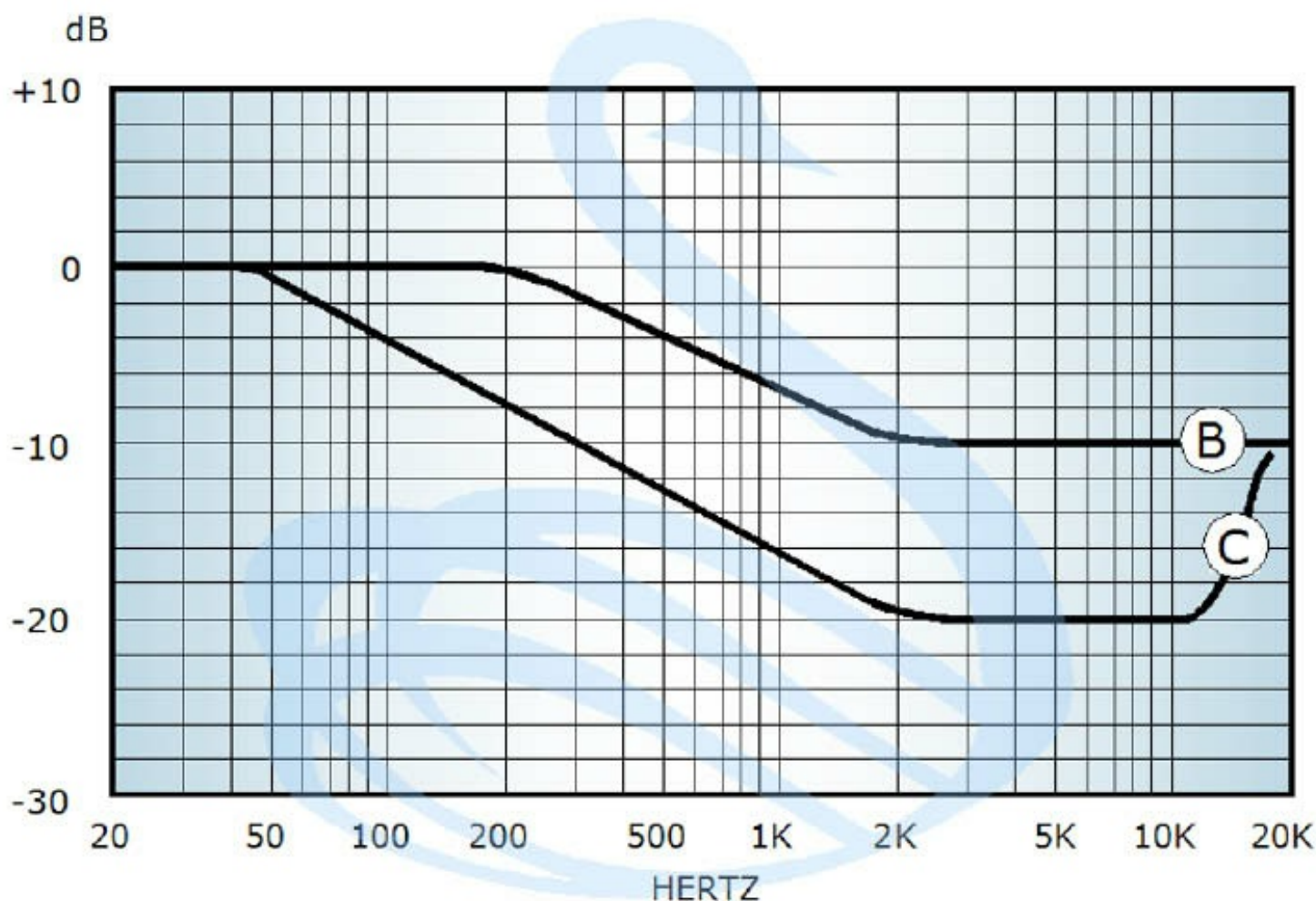


figura 4.166 comparação das curvas dos redutores de ruído Dolby B e C, para sinais de baixo nível
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Entretanto, a versão mais eficaz da Dolby é o redutor Dolby SR, abreviatura para Spectral Recording System.

Trata-se de outra versão profissional, propiciando uma redução de ruídos capaz de ultrapassar os 25,0 dB.

Isto sobre o segmento do espectro no qual os ruídos são mais audíveis.

De fato, durante a gravação o Dolby SR só reforça os sinais cujos níveis estejam contidos numa faixa definida por dois limites, e acusados por sensores que os procuram em quaisquer regiões do espectro de frequências.

Outros sinais não são processados.

Desse modo, um gravador de carretel aberto convencional, de fita, pode operar com relação sinal/ruído superior a 105,0 dB.

Durante a reprodução, o processador impõe uma atenuação complementar, de sorte que todos os sinais antes reforçados tenham suas amplitudes originais reconstituídas.

4.4.8.2 dbx

Ao contrário do sistema Dolby, o sistema redutor de ruídos dbx não utiliza um limiar de

atuação. Nem é sensível a frequências ou gama dinâmica. Assim, eles atuam sobre os sinais de todos os níveis, e ao longo de todo o espectro de áudio.

O redutor dbx opera basicamente como um compansor (compressor seguido de expansor), comprimindo os sinais antes da gravação, e os expandindo na reprodução.

Como ilustra a figura 4.167. Assim, este também é um sistema redutor do tipo complementar.

A taxa de compressão é fixa e estabelecida em 2:1.

Portanto, um programa com gama dinâmica de 100,0 dB acaba com apenas 50,0 dB.

E assim pode ser aplicado a praticamente qualquer gravador existente. Durante a reprodução, a gama dinâmica original é restaurada.

A redução de ruído obtida com o dbx é da ordem de 30,0 dB.

A circuitação destes processadores inclui uma pré-ênfase na forma de reforço de 12,0 dB na região das altas frequências.

E naturalmente, uma de-ênfase complementar, que também ocorre durante a reprodução. A ideia com isso é reduzir os ruídos de modulação.

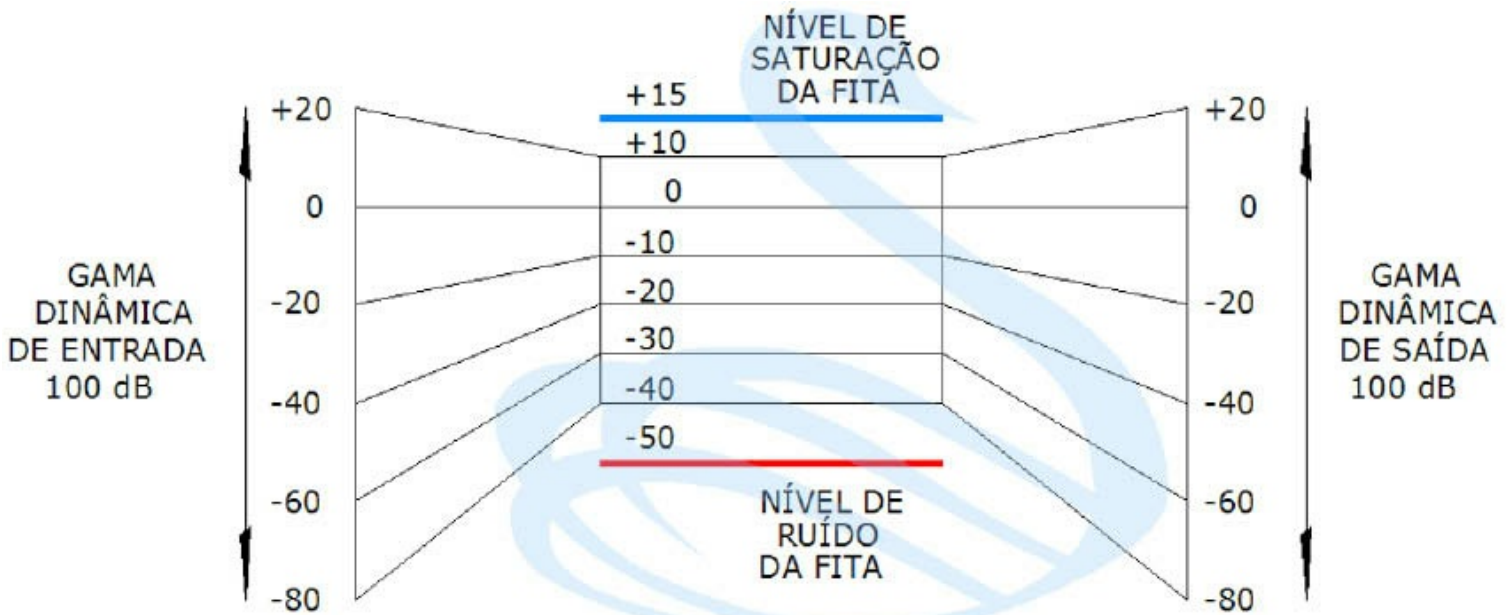


figura 4.167 os processos de compressão e de expansão dos redutores de ruído dbx acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 4.4.8.3 Redutores Dinâmicos de Ruído

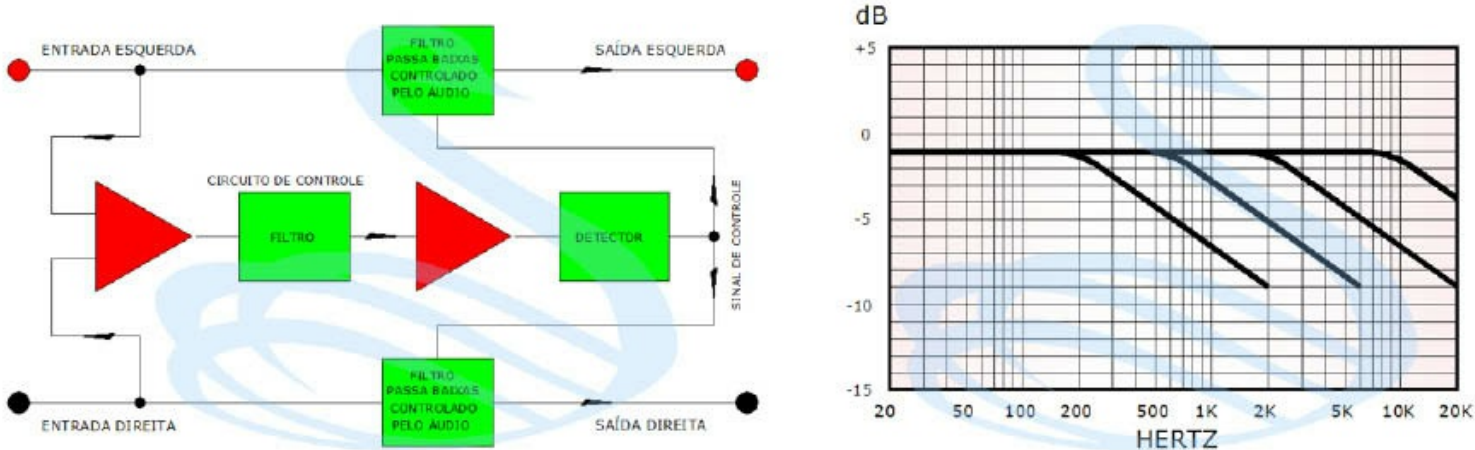


figura 4.168 ilustrações do redutor de ruídos DNR

(A) diagrama de blocos simplificado (B) urvas de atuação do filtro passa baixas do redutor de ruídos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os processadores dinâmicos de ruído não são mais dispositivos complementares, e atuam apenas sobre as reproduções.

Destes, o mais conhecido é o DNR, abreviação de Dynamic Noise Reduction. Eles consistem de um filtro passa baixas variável, atuado pela presença de sinais de altas frequências e de baixos níveis. Quando estes não se fazem presentes, o filtro não atua.

E o efeito de mascaramento natural dos sinais se incumbe de “esconder” os ruídos. Quando os sinais de altas frequências se apresentam com níveis reduzidos, a banda passante do programa é imediatamente diminuída, e com isso os ruídos são reduzidos. Como ilustra a figura 4.168.

Os filtros projetados para trabalhar com os redutores DNR devem ser muito velozes, de forma a operar sem clipamentos. Seu tempo de ataque típico é da ordem de 1 milissegundo, e o tempo de recuperação é da ordem de 20 milissegundos, o que é suficiente para conservar a natureza musical dos programas. Este sistema pode ser empregado literalmente em quaisquer fontes de programa.

4.4.8.4 Redutores Digitais de Ruído Todos os redutores de ruído que discutimos até aqui são itens originalmente desenvolvidos para implementação no domínio analógico.

Durante décadas logamos êxito em acumular muitos conhecimentos sobre as técnicas correspondentes, bem como sobre as reações das pessoas para diversos tipos de respostas dos aparelhos.

Tudo isso se constitui num sólido e consistente acervo de competência, com extraordinário potencial para novas cartadas.

Por outro lado, depois de muitas gerações de desenvolvimento, os engenhos DSP (Digital Signal Processing), que no início eram apenas lógica discreta TTL (Transistor-Transistor Logic) muito lenta e fisicamente volumosa, tornaram-se arquiteturas elaboradas com magnífica e insólita capacidade de processamento. A ponto de muitos desses engenhos ter capacidade de processamento específico superior à dos processadores de aplicação geral encontrados nos modernos computadores pessoais.

Como resultado disso, a partir de um dado momento os redutores de ruído foram pendendo naturalmente mais e mais para o domínio digital.

Neste ponto quero fazer algo que, a estas alturas, considero fundamental. Quero lembrar, então, que sistemas redutores de ruído, analógicos ou digitais, não são sistemas projetados para eliminar ruídos. Mas sim para atenuá-los. Por vezes às custas de algum grau de deterioração do próprio programa.

Até porque a eliminação total do ruído é, na maioria das vezes, indesejável. Por exemplo,

um redutor de ruídos baseado em técnicas noise gating produz resultados sônicos muito superiores atenuando os ruídos em apenas 15,0 dB do que eliminando-os totalmente. O que se deve ao fato de, neste último caso, quem ouve o resultado percebe facilmente a atuação do processador e depreende que o efeito é irreal, não condizendo com o que se ouve em situação de conversas ou audição musical naturais, sem ajuda de eletrônica.

Isto posto, vamos prosseguir.

Os primeiros redutores digitais seguiram os passos de seus antecessores analógicos.

Como aqueles, os digitais de primeira leva já dividiam o espectro em algumas bandas de frequências para processamento independente de cada banda. Em razão da facilidade encontrada, a quantidade de bandas logo passou a aumentar muito e rapidamente. Até atingir centenas de bandas. Sem que fossem impostos quaisquer compromissos da capacidade de processamento dos sinais.

O trabalho dos redutores digitais é relativamente simples quando o ruído a ser combatido apresenta um caráter definido e permanente. Entretanto, diante de ruídos de natureza dinâmica, muito variáveis em função do tempo e caracterizados por fortes doses de imprevisibilidade, as dificuldades começam a se multiplicar.

Se dedicando muito algumas empresas de ponta que se debruçaram sobre os redutores digitais de ruído, como a CEDAR Audio e a Sonic Solutions, chegaram a algoritmos capazes de reconhecer ruídos variáveis, mesmo na presença dos sinais de programas.

Para tanto foram empregadas técnicas de autocorreção e outras, similares. Dessa maneira foi possível desenvolver um perfil dinâmico para reduzir ruídos difíceis em tempo real.

Quem já usou quaisquer desses recursos sabe que o usuário precisa promover ajustes para encontrar o melhor compromisso entre o grau de redução de ruído que se pode obter de um lado, e dos efeitos colaterais resultantes da ação dos processadores.

Por isso a ação humana ainda continua sendo fundamental para decidir o ponto de compromisso desejado. O efeito colateral mais comum vem na forma de uma certa degradação dos programas. Sejam eles de voz, de instrumentos musicais ou ambos. É um subproduto clássico da redução de ruídos. Portanto, esse é um desafio concreto para qualquer operador profissional de áudio. Bem como para usuários não profissionais, que contam com softwares de empresas como a Izotope, a TC Electronic, a Waves and Bias e outras tantas.

Entre os ruídos muito problemáticos estão os buzes, os cliques repentinos e inesperados e, quem diria, os estalidos produzidos por discos vinílicos mal conservados, sujos e/ou com eletricidade estática.

Os buzes geralmente têm a mesma fundamental que a frequência da energia comercial local. Mas fatores como interferências eletromagnéticas produzem componentes com frequências

muito elevadas, contaminando todo o espectro de áudio. Além disso, há buzses com componentes não harmônicos que “escapam” da ação planejada dos filtros mais comuns.



figura 4.169 Oxford de-clicker, da Sonnox acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os cliques digitais, usualmente produzidos por problemas de sincronismo digital, que ainda estão entre nós, consomem uma enormidade do tempo dos profissionais que se empenham em aliviar um pouco as sequelas resultantes desse mal. Embora os processadores reconheçam com facilidade o ataque ultra rápido desses cliques em comparação com o áudio usual contido no programa, a redução é complexa porque vem na forma de substituição das amostras afetadas que produzem o ruído por valores interpolados de amostras imediatamente anteriores e posteriores às amostras contendo o ruído.

Já os ruídos dos discos vinílicos são jogo duro. Porque se estendem por muitas e muitas amostras e ocorrem com frequência elevada. A saída é utilizar software profissional e técnicos muito experientes, todos dotados de audição educada e bem treinada.

Uma das empresas que tem surpreendido o mercado é a Sonnox, que desenvolveu um software de restauração específico para os problemas dos discos vinílicos, com muitos refinamentos, o Oxford de-Clicker, ilustrado na figura 4.169.

Ainda assim a ação do usuário é parte integrante dos resultados a que se pode chegar.

Convém alertar. O resultado também é função do investimento. Sistemas acessíveis costumam produzir resultados modestos. Porquanto sistemas muito profissionais e caros produzem resultados proporcionais ao investimento feito.

Em outras palavras, você obterá na medida do investimento.

Vou tentar exemplificar. Um dos problemas com que sempre se defronta na prática é algo

como um celular tocando, alguém tossindo ou espirrando, ou uma porta que bate ruidosamente num estúdio de TV. Como tivemos oportunidade de presenciar em vários estúdios de diferentes emissoras de TV no Brasil e no exterior.

Pois é. A CEDAR resolveu enfrentar para valer essa questão. E se saiu com o software “Retouch”. Nele, o conteúdo do áudio é representado espectralmente como função do tempo. As frequências são representadas verticalmente e as magnitudes do sinal numa escala de cores. Dessa maneira fica relativamente identificar esses ruídos, as respectivas durações e como eles se distribuem no espectro. Fazendo isso o operador pode delimitar bem o problema para tentar atenuá-lo para que ele fique mascarado pelo noise floor ou, alternativamente, tentar a substituição com material interpolado, retirado da vizinhança acima e abaixo do problema.

De qualquer modo, a ideia disso é trabalhar apenas as frequências envolvidas e na magnitude que produza os menores efeitos colaterais possíveis.

Muitas novas empresas já começam a oferecer produtos claramente inspirados no que fez a CEDAR.

4.4.9 Supressores de Realimentação Naturalmente, a tecnologia digital também nos reservaria algumas surpresas no campo do combate à microfonia.

Em 1971 Doran Oster abria uma pequena loja de reparos eletrônicos no norte da Flórida. Que em 1987 havia se transformado na Sabine Music Center. Então, uma das maiores lojas no gênero de toda a região. Já contando com a fabricação de alguns pequenos itens eletrônicos, e subsidiado por seus ouvidos de músico (guitarrista), em 1990 Oster iniciou o desenvolvimento de um controlador automático de microfonia.

E assim nasceu o FBX-M, provavelmente o primeiro “exterminador” de microfonia dotado de filtros adaptivos. O que o aparelho de Oster fazia era “ouvir” o material processado por um sistema de áudio, com atenção especial para tons de elevada intensidade que se mantinham por tempo relativamente longo.

E então, lá plantava um filtro analógico de 1/3 de oitava. Tudo sob supervisão digital.

Embora com alguns probleminhas para distinguir os tons musicais do que deveria ser a microfonia, esse aparelho realmente funcionava. Tanto que muitos deles ainda continuam em uso.

Com a introdução dos DSP, Oster substituiu os seis filtros analógicos do FBX-M por filtros de Q muito mais elevados e precisos. O novo produto, o FBX-900, possuía filtros 10 vezes mais estreitos que os equivalentes analógicos. Que também eram mais estáveis, inclusive diante de variações de temperatura, e introduziam menos deslocamentos de fase. Mas a grande vantagem que o DSP trouxe foi a possibilidade de utilização de um poderoso algoritmo,

desenvolvido especificamente para o controle da microfonia.

Em especial no que se refere à capacidade de distinguir tons de microfonia de “tons” musicais. Com o DSP, a análise se baseia no conteúdo harmônico do tom em questão, com velocidade de análise de 1 amostra a cada 20 milissegundos.

A essência da análise em qualquer supressor de realimentação desse tipo é avaliar o conteúdo harmônico dos tons de alta intensidade e longa duração. Nos tons musicais, os harmônicos são elevados em quantidade e em magnitude, em contraste com os tons de microfonia, que são praticamente senóides puras.

Após a série FBX da Sabine, veio a série ADF, com 12 filtros, além de acessórios. Entre os quais um RTA e um gerador de ruído rosa incorporados.

Outro exemplo de processador de realimentação digital e automático é o AP-700 da Roland, equipado com nada mais nada menos do que 91 analisadores de banda e 18 filtros paramétricos estereofônicos.

Muitos são os que sustentam firmemente argumentos contra os supressores que usam filtros. Os principais argumentos são

- eles criam buracos no espectro de áudio
- são produzidas rotações de fase na banda passante, em forma de distorções
- a simples introdução dos supressores contribui para aumentar o ruído do sistema, cuja magnitude aumenta na proporção dos filtros simultaneamente utilizados

Há um outro tipo de supressor de realimentação, que se baseia no princípio sugerido por Schroeder.

A ideia central é incorporar um deslocador de frequência ao elo de ganho do sistema, de sorte que cada geração de realimentação tenha sua frequência deslocada em poucos Hertz. Só isso já é o suficiente para impedir a microfonia. E assim é possível evitar a perda de controle da estabilidade do sistema, disparada pela realimentação. Mas há um preço a pagar por isso, que é a coloração tonal especialmente notável na reprodução de voz.

As duas técnicas mencionadas são eficazes para a maioria das aplicações. Logo, recomendo que os consultores se familiarizem com elas, ou sem dúvida, estarão desprezando parte do ferramental moderno que a tecnologia põe a seu dispor.

A figura 4.170 mostra um supressor de realimentação Sabine, modelo ADF2402.

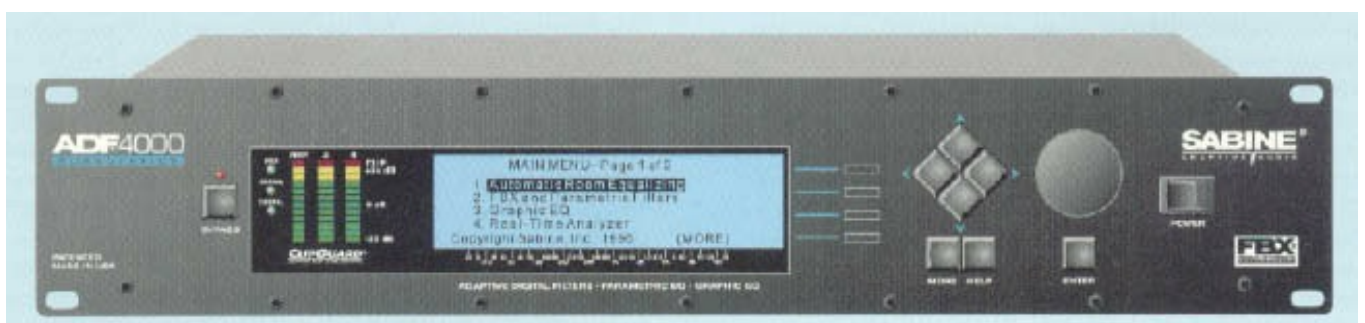


figura 4.170 supressor de realimentação Sabine, modelo ADF2402

4.4.10 Exciters e Harmonizers Em meados de 1975 uma empresa norte-americana, de nome Aphex, introduziu no mercado um produto denominado Aural Exciter.

Esse aparelho dividia o sinal de entrada em duas partes. Uma dessas partes seguia diretamente para a saída do aparelho. A outra parte seguia para um bloco de processamento de sinais. Inicialmente, o sinal era submetido a um filtro passa altas, para remoção do material com frequências mais baixas. A seguir, o sinal era conduzido para um gerador de harmônicas. Esse processamento criava harmônicas cujas frequências e amplitudes dependiam integralmente das frequências e amplitudes do sinal original, mas agora, já filtrado.

Ao final, os sinais processados eram combinados na saída com a parte não processada.

Novos circuitos aumentaram a sensibilidade das variações de amplitude, o que se aplicava principalmente às harmônicas de ordem ímpar, permitindo alterar consideravelmente os envelopes dos sinais. Com efeitos sônicos que simulavam ataques substancialmente mais velozes do que os sinais originais.

Os resultados psicoacústicos desse tipo de processamento eram sempre muito mais evidentes do que as medições tomadas com instrumentos fariam supor.

E assim os exciters se tornaram muito populares. De fato, nas gravações, o principal benefício era o nível de sinal, imediatamente mais elevado do que o nível original. Em aplicações nos sistemas de reforço, muitas vezes os exciters eram os responsáveis pelo aumento da inteligibilidade. E finalmente, nas transmissões de rádio e de TV, os exciters possibilitavam maior penetração dos sinais sem os problemas de sobremodulação.

Os primeiros exciters fabricados não estavam disponíveis para venda, mas tão somente para locação. Posteriormente, os circuitos de processamento foram implementados em circuitos integrados, inclusive para venda a empresas interessadas em produzir aparelhos semelhantes.

A Aphex possui os direitos sobre o termo Aural Exciter, bem como os direitos de exploração comercial dos circuitos que inventou e patenteou.

Contudo, outras empresas acabaram produzindo circuitos diferenciados dos da Aphex, e com utilização de processos relativamente diferentes, produzem resultados semelhantes. Para não empregar o termo exciter, esses fabricantes utilizam vários outros termos, sendo o mais comum deles «harmonizer».

Atualmente, há circuitos semelhantes desenvolvidos para aplicações em telefonia, especialmente em certos tipos de interfonos comerciais, e mesmo de equipamentos telefônicos profissionais.

4.4.11 Processadores Digitais de Efeito e Outros Efeitos Processadores digitais de efeito, ou multiprocessadores digitais, são aparelhos totalmente apoiados em tecnologia digital. Mais especificamente, em circuitos de atraso de sinais, como os delayers. Mas com alguns circuitos complementares.

Eles são capazes de produzir uma grande série de efeitos, alguns dos quais já vimos anteriormente, inclusive os atrasos de sinais, equalização gráfica e paramétrica, filtragens dos mais diversos tipos, funções de mixagem e assim por diante.

Outros efeitos típicos desses processadores são discutidos nos itens seguintes.

A figura 4.171 mostra o diagrama de blocos simplificado de um processador digital de efeitos genérico.

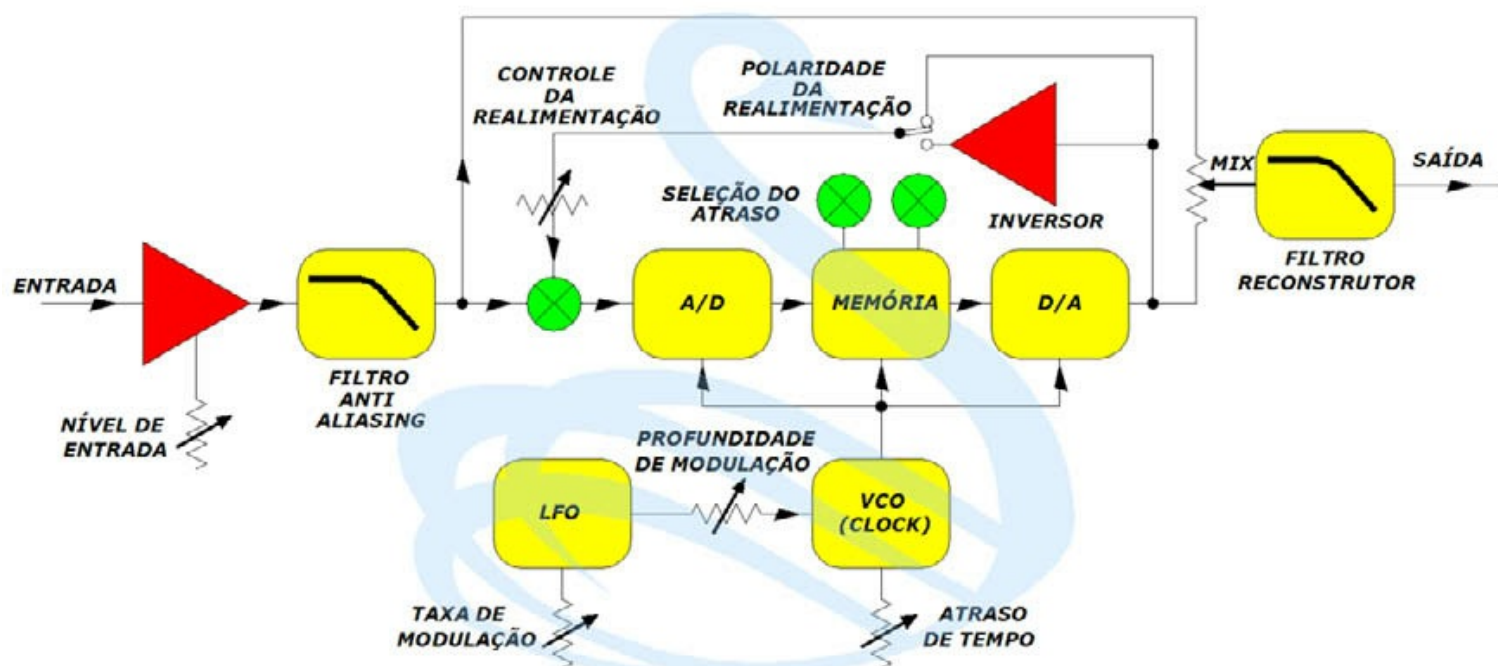


figura 4.171 diagrama de blocos processador digital de efeitos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

O sinal sem processamento é aplicado na entrada do processador através de um amplificador de entrada, cujo ganho é geralmente ajustável. A seguir, o sinal é encaminhado para um filtro passa baixas, cuja função é eliminar frequências altas e que não seriam corretamente processadas pela circuitação digital.

Na saída do filtro passa baixas o sinal é dividido em duas partes. Uma delas simplesmente não é processada, sendo diretamente ligada a um controle denominado mix. Esse controle aí está para combinar o sinal sem processamento (seco) com o sinal processado (molhado), em quaisquer proporções.

E desse modo, podemos obter quaisquer combinações desses sinais na saída do processador.

A outra parte em que foi dividido o sinal de entrada é ligada a uma chave, denominada realimentação in/out.

A esta chave chega também um outro sinal, proveniente de um trecho mais adiante do circuito. Como mostra o desenho, este outro sinal é um sinal de realimentação. A chave

realimentação in/out permite que a realimentação seja ou não injetada nesse ponto. O controle nível de realimentação possibilita que, em caso de injeção de realimentação, se ajuste nível do sinal da realimentação injetada.

A figura mostra a seguir um bloco denominado A/D, que nada mais é do que o conversor analógico para digital. Assim, daí para a frente o sinal não será mais analógico, mas digital. A saída do conversor A/D prossegue para o bloco de memórias. É exatamente nessas memórias que é obtido o atraso dos sinais. Acima do bloco de memória estão os seletores que possibilitam ajustar os atrasos em faixas. No caso, duas. Por exemplo, até 124 milissegundos, e acima disso.

A saída do bloco de memórias é ligada a um outro conversor, denominado D/A. Que é o conversor digital para analógico. Então, daí para a frente o sinal é novamente analógico.

O sinal é novamente dividido na saída do conversor D/A. Uma parte segue para o controle mix. A outra é dividida mais uma vez ainda. Uma parte dessa segunda divisão é levada para um amplificador inversor, que apenas muda a polaridade do sinal, sem amplificá-lo. A saída do amplificador inversor vai ter a uma chave seletora. A outra parte da segunda divisão é levada ao outro polo da chave seletora, sem passar pelo amplificador inversor. Assim, podemos escolher na chave se desejamos uma saída de realimentação em fase ou em antífrase (deslocamento de 180°). E a chave seletora é então denominada chave de polaridade da realimentação. A saída dessa chave retorna para o controle nível de realimentação, que já discutimos, formando o elo de realimentação.

Abaixo do bloco de memória vemos um bloco com a função de relógio (clock). A sigla VCO é uma abreviação para “Voltage Controlled Oscillator”. Ou seja, um oscilador controlado por voltagem. O significado prático disso é que a taxa do relógio, que determina o atraso dos sinais, depende de uma voltagem de controle. Assim, podemos variar indiretamente a taxa do relógio, e o tempo de atraso, por simples variação de voltagem.

Abaixo do relógio está um controle, denominado tempo de atraso. Dentro da faixa de ajuste escolhida nos seletores (que estão acima do bloco de memória), esse controle permite que o tempo de atraso seja continuamente ajustado do mínimo ao máximo que cada equipamento possibilita.

À esquerda do bloco relógio está o bloco LFO. Sigla para “Low Frequency Oscillator”. Um LFO geralmente trabalha no espectro infrassônico. Tipicamente de 0,001 Hz a 20 Hz. Esse bloco é o bloco modulação. Assim chamado porque o sinal do LFO pode modular o relógio, fazendo variar sua taxa em ritmo periódico.

O LFO é ligado ao relógio através do controle de profundidade de modulação (modulation depth), que ajusta a amplitude do sinal modulador. Portanto, o grau em que a modulação afeta a

taxa do relógio.

Abaixo do LFO vemos o controle da taxa de modulação, que nada mais é do que o controle da frequência do LFO.

Finalmente, temos a saída do aparelho. Geralmente esta etapa possui um controle do nível de saída do sinal, e é precedida por um filtro passa baixas. A função do filtro é eliminar eventuais traços das frequências do relógio, que poderiam contaminar o sinal de saída.

4.4.11.1 Slap Echo

O slap echo, ou slapback echo, é o resultado de um atraso de sinal muito pronunciado, tipicamente entre 50 e 200 milissegundos. Trata-se de algo que foi muito usado nas gravações de rock dos anos 50, e ainda é bastante usado atualmente.

4.4.11.2 Doubling

Ou ADT, para “Automatic Double Track”. O efeito é obtido com a soma do sinal direto com um componente atrasado entre 15 e 35 milissegundos. O resultado sônico do efeito é trazer um pouco mais de corpo para vozes e instrumentos.

4.4.11.3 Chorus e Vibrato Quando o atraso do efeito dubbling é modulado por varredura, ou variado de maneira randômica, é produzido um efeito de ondulação denominado chorus. Recirculando parte desse sinal atrasado pela entrada do aparelho, é obtido um sinal bastante encorpado. O efeito chorus tem essa denominação porque uma única voz assim processada pode parecer um autêntico coral com muitas figuras. O efeito é muito apreciado, especialmente quando reproduzido em estereofonia.

Quando o mix é utilizado para combinar sinais secos e molhados, o efeito é denominado chorus. Quando só há sinal molhado na saída do aparelho, o efeito é chamado vibrato.

4.4.11.4 Flanging

Esse efeito é obtido pela soma do sinal direto com um componente de atraso de até 20 milissegundos. É verdade que a maioria dos ouvidos funde esses dois sinais num único, portanto não conseguindo percebê-los distintamente. Entretanto, os sinais combinados produzem cancelamentos de fase, o que dá origem ao efeito filtragem pente, já discutido anteriormente.

Desse modo, a percepção é a de uma resposta de frequência inusitada, muito colorida, do tipo filtrado, e com propriedades tonais características. Naturalmente estamos falando de uma forma de distorção, que alguns banem de forma solene, e outros apreciam.

Quanto menor for o atraso imposto, mais afastados em termos de frequência estarão os picos e vales do efeito filtragem pente.

Em alguns processadores digitais de efeito, o tempo de atraso pode ser ajustado para ficar variando automaticamente entre 0 e 20 milissegundos. O que faz com que os pontos de mínima do efeito filtragem pente se desloquem continuamente ao longo do espectro. O resultado sônico dessa salada é uma qualidade etérea e esburacada. Também apreciada por muitos e criticada por outros.

O efeito é mais utilizado em instrumentos ou programas com espectros de frequência mais amplos.

Quando os sinais direto e atrasado são de mesma polaridade, o efeito é denominado flanging positiva. Inversamente, sinais direto e atrasado defasados em 180° dão origem à flanging negativa. Esta última tem um efeito muito mais pronunciado do que a anterior, especialmente em baixas frequências, que são consideravelmente alteradas.

A taxa de modulação associada ao efeito deve ser moderada. A profundidade de modulação pode ser variada à gosto. Quanto maior for, mais notável será o efeito.

4.4.11.5 Resonant Flanging Se tomarmos a saída de um processador digital ajustado para o modo flanging, e promovermos a recirculação da saída para a entrada, os picos e vales serão muito mais pronunciados, e o resultado, chamado efeito resonant flanging, é semelhante ao que ouvimos nas trilhas sonoras dos filmes de ficção científica.

4.4.11.6 Phasing

O efeito phasing é obtido de modo semelhante ao efeito flanging, com a exceção do atraso de tempo, que é substituído por uma rede de atraso de fase. Na prática, o resultado é que os picos e vales ficam bem mais espaçados do que antes, e sua distribuição passa a ser bastante irregular.

4.4.11.7 Pitch Shifting Quem já lidou com um deck de fita magnética de duas ou mais velocidades, ou mesmo com um toca-discos analógico, sabe que se reproduzirmos numa dada velocidade um programa gravado em velocidade inferior, a altura do programa aumentará, mas o tempo de reprodução encurtará. Para produzir o efeito pitch shifting, os processadores promovem o atraso de sinais de uma maneira toda especial, de sorte que é possível alterar a altura dos sinais em tempo real, sem modificar o andamento musical do programa. Há várias maneiras de se fazer isso. Por exemplo, escrevendo o programa codificado num banco de memórias, seguida de sua leitura, mas feita numa taxa diferente.

A variação de altura da maioria dos processadores pode subir ou descer cerca de duas

oitavas.

4.4.11.8 Enhancing

O processador que gera esse efeito acrescenta harmônicas não presentes no sinal original. O exemplo mais conhecido de processador de enhancing é o Aural Exciter, da Aphex. Os comentários sobre o resultado sônico do efeito é que os sons tornam-se mais brilhantes, mais abertos e mais presentes.

Também há opiniões dizendo que os picos dos programas tornam-se relativamente mais robustos, pois que os processadores aumentam suas durações.

4.5 AMPLIFICADORES

4.5.1 Aspectos Gerais O título amplificador abriga uma grande série de aparelhos, entre os quais estão os seguintes:

- controladores automáticos de ganho
- boosters
- bridgers
- buffers
- compressores
- companders
- limitadores
- noise gates
- equalizadores
- módulos de programa
- distribuidores de programa
- niveladores de programa
- unidades laterais
- amplificadores de vídeo
- outros

Mas nossa intenção agora é tratar apenas dos amplificadores de potência, que são carinhosamente chamados apenas amplificadores. A função principal desses aparelhos é aumentar a magnitude dos sinais de áudio.

Idealmente, sem introduzir quaisquer tipos de distorções.

O que na prática não ocorre.

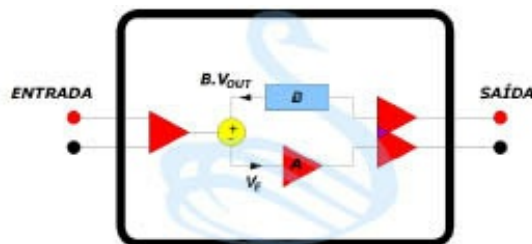


figura 4.172 amplificador como quadripolo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os amplificadores utilizados em áudio profissional apresentam impedâncias características de entrada-saída típicas dos amplificadores de tensão, e geralmente são capazes de entregar elevados níveis de energia.

Qualquer amplificador pode ser tratado como um quadripolo, como mostra a figura 4.172.

Dos quatro terminais do quadripolo, dois são de entrada e dois de saída. Quando nenhum

dos terminais de entrada está diretamente ligado a terra, e se ambos são eletricamente simétricos com relação a ela, a entrada é denominada balanceada.

Caso contrário temos uma entrada não balanceada.

O mesmo aplica-se aos terminais de saída.

A maioria dos amplificadores fabricados atualmente é de dois canais.

Gostaria de esclarecer um aspecto a respeito dos amplificadores, em torno do qual vejo que há muita incompreensão.

É a respeito dos atenuadores. Muitos confundem os atenuadores dos amplificadores com controle de ganho, imaginando que alterando-se a posição do atenuador o amplificador irá amplificar mais ou menos o mesmo sinal presente em sua entrada.

O que é um engano.

Os atenuadores realmente **não são** controles de ganho.

Todos os amplificadores de potência possuem um ganho fixo, como por exemplo 32,0 dB. Então, temos uma situação como a figura 4.173.

A função do atenuador é atenuar os sinais de entrada. Desde nenhuma atenuação até atenuação infinita.

Situação na qual não há sinais entregues para amplificação.

Assim, quer o sinal tenha 1,0 volt, ou 10,0 milivolts, ele será amplificado e terá um nível 32,0 dB acima do nível presente na entrada do aparelho.

Veremos mais adiante porque é tão importante entender que os atenuadores não são controles de ganho. Outro aspecto importante nos amplificadores utilizados em áudio profissional diz respeito a seus mecanismos de proteção.

Os mecanismos de proteção dos amplificadores ou protegem os amplificadores contra falhas da carga, ou protegem a carga contra falhas do amplificador, ou ambos.

A carga pode estar protegida contra transientes que ocorrem quando o aparelho é ligado ou desligado, contra resíduos CC presentes na saída do amplificador, e contra eventuais oscilações provocadas no amplificador pela própria carga, o que pode ocorrer para determinadas impedâncias.



figura 4.173 amplificador com ganho fixo e atenuador acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O amplificador pode ser protegido contra curtos-circuitos e impedâncias muito reduzidas, temperaturas excessivamente elevadas, linhas de alto-falantes contaminadas por sinais de radiofrequência, componentes CC nos circuitos de saída, e diversas outras formas de anomalias.

A forma mais simples de proteção das cargas são os fusíveis inseridos em série em seus

circuitos da carga. As demais formas de proteção das cargas são obtidas por inserção de relés eletromecânicos ou eletrônicos, operados por circuitos de proteção.

A proteção dos amplificadores contra componentes CC de entrada é feita com o uso de transformadores de entrada, ou com filtros capacitivos passa altas. Também são comuns as proteções colocadas nas entradas e saídas dos amplificadores, contra interferências de radiofrequência. Geralmente na forma de filtros passa baixas.

A temperatura dos dissipadores também pode ser monitorada por sensores termostáticos, que controlam a operação e/ou velocidade dos ventiladores. Em casos extremos, o fornecimento de energia para os estágios de saída pode ser interrompido.

As polarizações dos estágios de saída dos amplificadores costumam apresentar ligeiras flutuações decorrentes de variações de temperatura. A arma contra isso é monitorá-las termicamente, e aplicar correção automática dentro de uma faixa prática.

A proteção contra curtos toma a forma de monitoração da corrente elétrica nos estágios de saída. Acima de um determinado nível, mantido por qualquer período considerado perigoso, o circuito de proteção, geralmente muito simples, composto por poucos resistores e diodos, limita os níveis de entrada para os circuitos de saída. Em muitos amplificadores estes circuitos ainda trabalham em conjunto com os sensores térmicos antes mencionados.

Atualmente os amplificadores podem ser construídos com elevado grau de sofisticação, e sua capacidade de proteção pode ser projetada de modo que a operação seja extraordinariamente confiável. Exemplo disso é a amplificador PSA-2 da Crown, cujo diagrama de blocos simplificado é o da figura 4.174.

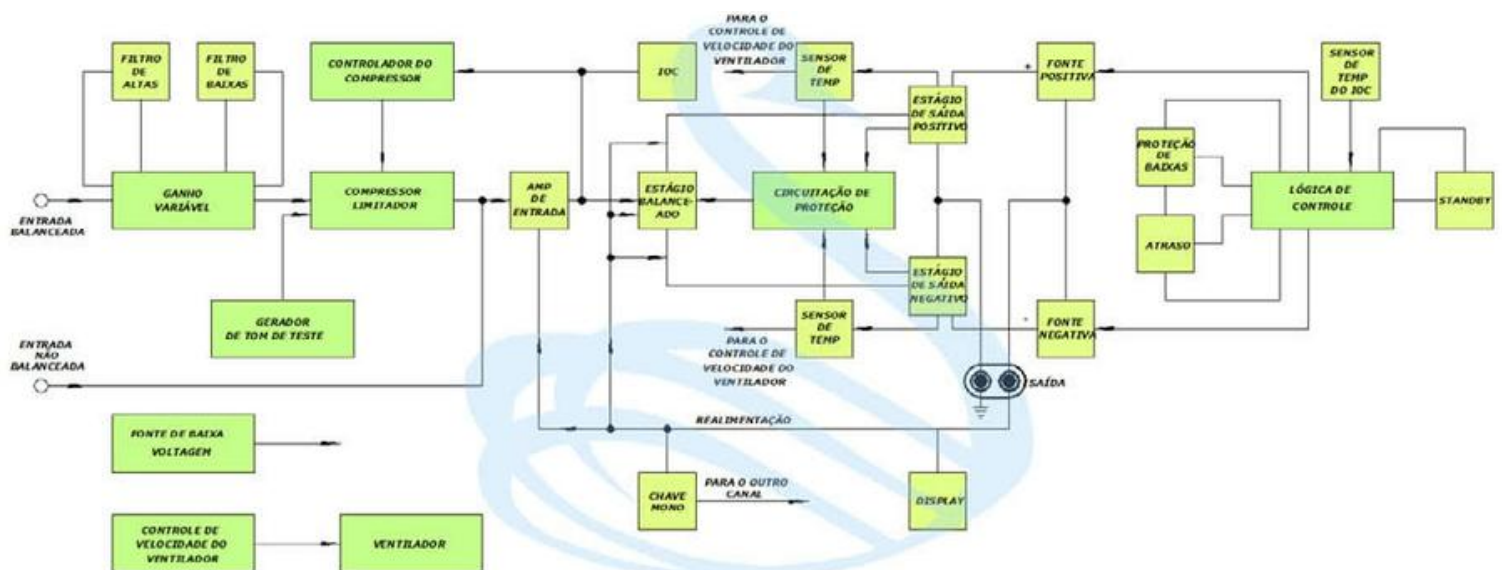


figura 4.174 diagrama de blocos simplificado do amplificador Crown PSA-2
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 4.5.2 Especificações 4.5.2.1 Potência de Saída e Clipamento
Uma das especificações mais importantes de qualquer amplificador é sua potência de saída.

A figura 4.175 esquematiza uma ligação entre um amplificador a uma carga.

A função do circuito de saída é gerar para a carga uma versão do sinal de áudio presente

em sua entrada, porém, com nível de energia muito superior ao deste.

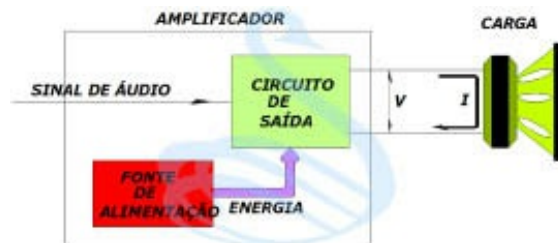


figura 4.175 interligação entre um amplificador e uma carga acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O nível de energia do sinal de saída, ou potência elétrica de saída do amplificador, é determinado a cada instante pelo produto $V \times I$, sendo V a voltagem, e I a corrente elétrica.

A figura mostra que a carga é alimentada diretamente pelo circuito de saída. Mas este circuito é incapaz de gerar energia, tarefa esta reservada para a fonte de alimentação.

Podemos dizer que quem supre a energia para circuito de saída, e finalmente para a carga, é a fonte de alimentação.

O que determina quanto da energia disponível na fonte é entregue para a carga a cada instante é sinal de áudio, que por isso mesmo controla o circuito de saída.

Olhando o amplificador desse modo, e observando a figura 4.175, fica fácil perceber que os fatores limitativos da potência de saída de um amplificador são:

- capacidade de fornecimento de energia elétrica pela fonte de alimentação
- capacidade de manipulação de corrente elétrica do circuito de saída
- regime térmico a que podem ser submetidos os semicondutores do circuito de saída

Desses fatores, o primeiro é de longe o mais crítico deles, e geralmente, o menos entendido. Essas são duas boas razões para que pesquisemos um pouquinho mais detalhadamente as restrições naturais de qualquer fonte de alimentação. Para tanto, vamos nos valer de uma fonte convencional, como a representada na figura 4.176.

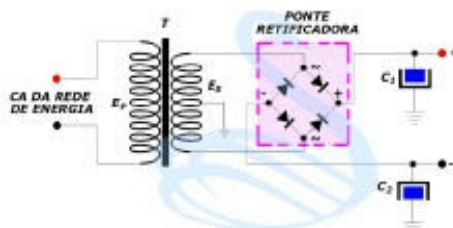


figura 4.176 esquema elétrico simplificado de uma fonte de alimentação simétrica convencional acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O primeiro componente da fonte é o transformador de força T . Seu enrolamento primário E_p recebe a energia CA disponível na rede comercial.

O enrolamento secundário E_s possui um tap central, neste caso, aterrado. Este ponto se constitui no Referencial de Sinal de Potencial Zero, ou RSPZ.

Para uma dada voltagem no enrolamento primário, a voltagem no enrolamento secundário é determinada principalmente pela relação de espiras entre esses mesmos enrolamentos. De modo que é sempre possível projetar o transformador para que a voltagem no enrolamento primário seja a desejada.

Obtidas as voltagens desejadas nas extremidades do enrolamento secundário, as mesmas devem ser retificadas.

No caso de nossa fonte, essa função é implementada por uma ponte retificadora convencional de quatro diodos.

E assim, temos as voltagens retificadas positiva e negativa, respectivamente nos terminais + e - da ponte retificadora. Ambas referidas ao RSPZ. É exatamente neste ponto que nos defrontamos com um dos calcanhares de Aquiles de toda e qualquer fonte de alimentação.

Se fossemos observar num osciloscópio a forma de onda do terminal + da ponte retificadora, sem o capacitor C_1 da figura, veríamos algo semelhante ao que mostra a figura 4.177.

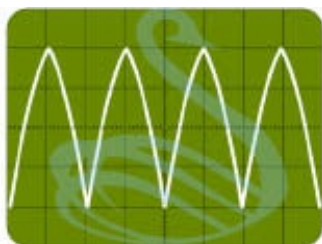


figura 4.177 forma de onda na saída + da ponte retificadora, com o capacitor C_1 fora do circuito acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É exatamente essa forma de onda que chamamos de **voltagem retificada**. É óbvio que há uma diferença enorme entre ela e uma autêntica **voltagem CC**, que **apareceria na tela do osciloscópio como uma reta horizontal**.

Quem vai reduzir essa diferença é o capacitor. Com ele no circuito, o osciloscópio exibiria aproximadamente o que mostra a figura 4.178. O que isso realmente significa é que a função do capacitor é armazenar energia durante os períodos de “entressafra”.

Como a fonte de alimentação de nosso exemplo é do tipo onda completa, a frequência da forma de onda da figura 4.177 é a metade da frequência da rede comercial de energia, que é 60 Hz no Brasil. E assim, o período da «entressafra» pode ser calculado:

$$\frac{1}{33\text{Hz}} \cong 33 \text{ milissegundos}$$

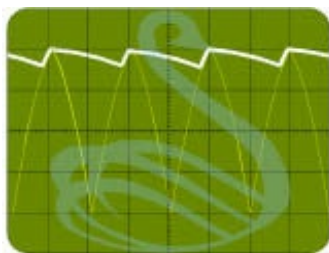


figura 4.178 forma de onda na saída + da ponte retificadora, com o capacitor C_1 ligado no circuito acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Naturalmente, o que vimos para o ramo positivo da fonte **aplica-se integralmente ao ramo negativo**.

Creio que é intuitivo para todos nós que a capacidade de armazenamento da fonte depende essencialmente da capacitância do particular capacitor empregado, e do quanto a fonte é exigida. A rigor, o capacitor é usualmente dimensionado exatamente em função dos regimes mais severos de demanda da fonte.

De modo geral, quando a fonte é pouco exigida, a forma de onda retificada, com os

capacitores, aproxima-se bastante de uma reta horizontal. O que mostra que, nessas condições, a voltagem e a corrente elétrica são razoavelmente estáveis. Porém, quanto mais a fonte é exigida, menos estáveis tendem a ser a voltagem e a corrente elétrica. E o resultado fica mais próximo da forma de onda de onda da figura 4.178.

Ocorre ainda que esse inconveniente não se manifesta igualmente para todas as frequências. De fato, o período de entressafra antes calculado torna-se curto demais diante das exigências relativamente longas impostas pelas baixas frequências. O que, colocado de outro modo, significa que os capacitores não têm tempo para se recuperar. E com isso, para uma exigência de energia aparentemente igual, imposta por frequências diferentes, as coisas para a fonte são tão piores quanto mais baixa é a frequência.

O que explica porque alguns amplificadores falham miseravelmente quando muito exigidos na reprodução de sinais de baixas frequências e elevados níveis.

Todas essas limitações decorrem de leis da física. Portanto, são parte integrante de qualquer fonte de alimentação.

Nas fontes cujos projetos são deficientes, essas limitações podem se transformar em pesadelos.

Nas fontes bem desenhadas, o problema geralmente é encarado de frente. Inicialmente, são empregados transformadores de força toroidais, de projeto superior, além de capacitores cujas capacitâncias são suficientemente grandes para manter a potência de saída especificada por longos períodos, como por exemplo 24 horas.

Com relação ao segundo fator de limitação da potência de saída, as elevadas correntes elétricas disponíveis nos amplificadores de alta potência são obtidas por utilização de vários transistores, todos eles operando em paralelo. Dessa maneira, cada transistor oferece sua parcela de contribuição para a formação da corrente total desejada.

Quanto mais corrente cada transistor é obrigado a suprir, mais elevada torna-se sua temperatura operacional. Até um limite, além do qual o componente está sujeito à ruptura térmica. O que obriga que haja um meio de trocar calor com o meio ambiente.

Nos amplificadores de baixa potência, a forma usual de controlar a temperatura dos transistores é fazendo sua montagem física diretamente em dissipadores térmicos, que trocam calor por convecção.

Nos amplificadores de média e de alta potência os transistores costumam ser montados nas faces internas de túneis abertos dos dois lados. Num dos lados se instala uma ventoinha, para forçar a circulação de ar pelo interior dos túneis. Assim, a troca de calor se dá por arrefecimento forçado.

Nos dois casos a eficiência da troca de calor é de vital importância para que as potências

especificadas sejam atingidas e mantidas, e ainda, para que o aparelho opere com grau aceitável de segurança e confiabilidade.

Essa eficiência depende de inúmeros fatores, entre os quais estão: material do que é feito o dissipador, massa do dissipador, área do dissipador que fica em contato com o ar natural ou forçado, posição do dissipador em relação ao meio ambiente, cor do dissipador, modo como os transistores são montados, e grau de intimidade dos contatos transistor/dissipador.

Mas agora estamos interessados em saber como as potências de saída são especificadas. E também, em como interpretar as figuras especificadas. Se fosse fácil especificar potências, o que não é o caso, também seria fácil interpretar as figuras resultantes.

A principal dificuldade é a própria natureza dinâmica dos sinais de áudio.

O que também se constitui numa dificuldade para a interpretação das figuras especificadas. Mas além disso, as interpretações podem ser agravadas por um outro fato, relacionado de perto com o primeiro. É que, valendo-se desta primeira dificuldade, fabricantes mal informados ou inescrupulosos, ou ambos, estão sempre prontos para nos enganar. E lamentavelmente, muitas vezes o conseguem.

Não estou me referindo a idiotices protagonizadas por watts ridículos, como IHF, PMPO e PECB (Para Enganar o Consumidor Brasileiro) e Deus sabe lá mais o que, besteiras que ainda encontram guarida no áudio de consumo. Estou me referindo a brechas que são cavadas ou encontradas nos diferentes critérios propostos para medições e especificações de potência, cujos objetivos, sérios e convergentes, são antes de qualquer outra coisa fórmulas que visam permitir comparações diretas entre produtos diferentes.

Assim, a potência de um amplificador é sempre especificada como a potência elétrica que o aparelho pode entregar para uma carga determinada, por um período relativamente longo, a um nível de distorção máximo especificado, e por todo um espectro de frequências, tipicamente de 20 Hz a 20 kHz.

Quando o amplificador é de dois canais, as medições devem ser tomadas com ambos operando, de forma que a fonte seja exigida como em condições reais.

Uma vez que o termo pico é instintivamente associado a algo de curtíssima duração, a ideia de especificar potência por um período relativamente longo também deve eliminar, pelo mesmo motivo, o que poderíamos chamar de potência de pico.

Logo, é preciso encontrar um sinal que possa representar melhor aos sinais de áudio como um todo.

E todos os critérios de medição e de especificação de potência se baseiam mesmo num valor contínuo de potência.

E aqui entra em cena o termo RMS, abreviatura para Root Mean Squared.

E o que isso quer dizer? OK. Quer dizer que os valores instantâneos das amplitudes de voltagem de uma forma de onda complexa são elevados ao quadrado. A seguir, é obtido um valor representativo de todas essas figuras elevadas ao quadrado, e então, é extraída a raiz quadrada desse valor. O resultado final dessa operação matemática está longe de ser um valor médio, e mais longe ainda de ser um valor de pico. O número obtido, que naturalmente se refere a um sinal CA, equivale ao valor de um sinal CC, que tenha a mesma dissipação que ele sobre a carga.

Creio que se usarmos um exemplo podemos deixar isso bem claro.

Pense num amplificador capaz de entregar 1.000 watts sobre uma carga de 4 Ω . Nessas condições, a voltagem sobre a carga é

$$V = \sqrt{1000 \times 4} \approx 63,2 \text{ volts}$$

Agora, se ao invés de utilizarmos este sinal de áudio - portanto CA - para produzir os 1.000 watts, utilizarmos um sinal CC com voltagem igual a 63,2 volts, então a dissipação sobre a carga será a mesma.

Isto é, a quantidade de calor produzida sobre a carga nos dois casos é exatamente a mesma.

Se formos analisar uma onda sinusoidal pura, veremos que o valor RMS é sempre cerca de 0,707 vezes o valor de pico da forma de onda.

Mas isso já não acontece sempre com os sinais de áudio.

Com efeito, o valor RMS de sinais de áudio pode variar rapidamente entre limites como 0,04 a 0,95 vezes!

Quando digo isso em meus cursos de áudio, muitos de meus alunos perguntam porque então se usam valores RMS nas medições de potência.

Há muitos especialistas que acreditam que há uma forte correlação entre os valores RMS e os sinais de áudio.

Além disso, dessa forma, temos ao menos uma medida comparativa bem confiável. E até o momento, as tentativas de utilização de outras fórmulas, baseadas em sinais que pudessem representar mais fielmente os sinais de áudio, não foram bem sucedidas. E as tentativas de se estabelecer o desempenho dos amplificadores nas condições dinâmicas dos sinais de áudio, como watts de programa, watts musicais, e outros, por incluir uma forte dose de subjetividade, e também, por possibilitar que os valores sejam manipulados como for julgado mais “conveniente”, resultaram nas idiotices a que me referi anteriormente.

Antes de continuar, gostaria apenas de informar que watts RMS é mesmo algo muito útil, mas que tecnicamente carece de significado.

Como disse antes, podemos chegar facilmente a valores RMS quando lidamos com voltagens. E digo agora que também podemos chegar facilmente a valores RMS quando

lidamos com correntes elétricas.

Mas quando voltagens RMS são multiplicadas por correntes RMS, incorremos num erro. De fato, essa multiplicação não resulta em watts RMS porque as voltagens e as correntes não estão rigorosamente em fase quando lidamos com cargas reais.

O que os fabricantes fazem para aferir as potências de seus amplificadores é utilizar sinais sinusoidais. Então, são calculados os valores RMS dessas voltagens, e as potências de saída obtidas a partir desses valores RMS de voltagens e das impedâncias das cargas utilizadas nos testes e medições.

Portanto, um termo melhor do que watts RMS é simplesmente potência contínua de saída. Isso posto, voltemos à figura 4.175.

Se os amplificadores fossem fontes ideais de voltagem, para um dado sinal constante na entrada, a voltagem V indicada na figura permaneceria fixa e imutável para quaisquer cargas que fossem ligadas.

Como 2, 4 ou 8 Ω . E nesse caso, de acordo com a lei de Ohm a corrente seria inversamente proporcional à impedância da carga.

Como potência elétrica é o produto da voltagem pela corrente elétrica, um amplificador que entregasse 200 watts a uma carga de 8 Ω deveria entregar 400 watts para cargas de 4 Ω , e 800 watts para cargas de 2 Ω . Isto, se não houvesse limitação de corrente.

Como os amplificadores não são dispositivos ideais, e nem as correntes que podem ser supridas são ilimitadas, as relações entre potências e impedâncias de carga não seguem a lei de Ohm ao pé da letra.

A tabela 4.5 ilustra a especificação de potência do amplificador 8001 da Crest Audio.

tabela 4.5

CONDIÇÕES	IEC 20 Hz a 20 kHz DHT < 0,1%	IEC @ 1 kHz DHT < 0,05%	SÓ 1 CANAL DHT < 0,05%
8 Ω , estéreo	720 watts	750 watts	850 watts
4 Ω , estéreo	1200 watts	1225 watts	1400 watts
2 Ω , estéreo	1400 watts	1400 watts	1400 watts
8 Ω , ponte	2250 watts	2450 watts	
4 Ω , ponte	2800 watts	2800 watts	

A tabela evidencia as várias potências especificadas, cada qual associada a um valor diferente de carga. Fica claro que a potência é tão maior quanto menor é a carga. Também podem ser notadas as limitações físicas das quais falamos até agora.

A tabela mostra ainda que há diferentes critérios de medição e de especificação de potência de saída.

De qualquer modo, quanto menor é a impedância de carga, maior é a corrente que o

amplificador é obrigado a entregar.

Portanto, os fabricantes de amplificadores especificam sempre quais são as impedâncias de carga mínimas com que seus produtos podem trabalhar.

As cargas mínimas com que os amplificadores podem operar tornou-se muito importante para inúmeros profissionais. De fato, vários são os que se interessam por adquirir amplificadores capazes de entregar potências realmente muito elevadas sobre cargas extraordinariamente baixas, como $1\ \Omega$. Mas voltaremos a isso com mais detalhes no capítulo 8.

Quando analisamos uma onda sinusoidal perfeita, vemos que o valor RMS corresponde a aproximadamente 0,707 o valor de pico. Assim, se um amplificador pode entregar 1.000 watts RMS para uma carga, por definição também pode entregar $1.000/0,707 \approx 1.414$ watts de picos para a mesma carga. Ou seja, + 1,5 dB.

Isso significa que, literalmente, qualquer amplificador pode entregar potência de pico no mínimo + 1,5 dB do que a potência em regime contínuo.

A diferença em decibels entre o valor de pico e o valor contínuo de potência que um amplificador pode entregar é denominada margem dinâmica. A figura 1,5 dB é o mínimo. E muitos amplificadores possuem margem dinâmica consideravelmente elevada.

Muitos fabricantes especificam a potência de pico de seus produtos. Uma das formas mais adotadas para fazer as correspondentes medições é utilizar como entrada para os amplificadores pulsos de ondas sinusoidais de várias frequências, com predominância para 1 kHz, com duração de 20 milissegundos, repetidos a cada 500 milissegundos.

O “espaço” entre os pulsos é preenchido com sinais sinusoidais com baixos níveis de energia, de modo que a fonte de alimentação tenha tempo para se recuperar, como tende a ocorrer com picos de sinais musicais em condições normais de reprodução.

Quando a margem dinâmica é apenas os mirrados 1,5 dB, é provável que a fonte de alimentação do aparelho trabalhe muito próxima de seu limite. Consequentemente, em regimes de elevadas demandas a fonte provavelmente não irá responder adequadamente. O que não significa que essa mesma fonte seja incapaz de fornecer níveis muito elevados de energia por períodos de tempo extraordinariamente curtos.

Assim, um amplificador com essas características pode servir muito bem para entretenimento doméstico. Mas para aplicações profissionais, onde as demandas elevadas são a regra, margens dinâmicas da ordem de 3,0 dB, ou mais, são recomendadas.

clipamento

Quando o amplificador é exigido além de seus limites de projeto, ocorre o clipamento, ilustrado na figura 4.179.

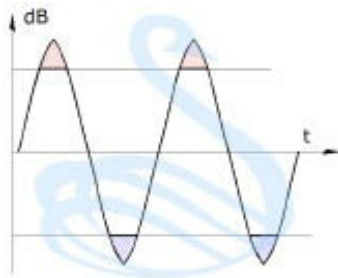


figura 4.179 ilustração de clipamento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura mostra uma forma de onda na saída do amplificador, e duas linhas hachuradas que definem a faixa operacional de potência do aparelho. Quando o sinal atinge os limites da faixa, ele simplesmente não pode ir além disso. Portanto, mantém sua capacidade máxima, no limite da faixa, até que o sinal volte a ser inferior ao limite, e possa ser corretamente amplificado. As partes mais escuras na figura são os trechos da forma de onda que estão fora da faixa operacional de potência, e que deixam de ser respondidas. O sinal assume então o formato aquadrado nos picos.

Já vimos que qualquer onda quadrada é composta por uma frequência fundamental e mais uma série de harmônicas de ordem ímpar.

Como em maior ou menor grau o clipamento se aproxima de uma onda quadrada, ele provoca a geração de fortes componentes harmônicos não presentes no sinal original. E assim, os níveis de distorção aumentam. Às vezes, dramaticamente. E esses componentes harmônicos indesejáveis podem facilmente danificar os drivers de compressão e tweeters. Além disso, e o que é pior, a potência média aplicada sobre a carga aumenta brutalmente. O que pode lesar por sobreaquecimento as bobinas móveis de quaisquer falantes, e ainda, os próprios amplificadores.

Infelizmente, é por consequência de clipamento que grande quantidade de falantes são danificados.

ponte

O termo ponte surge na literatura dos amplificadores de potência. Ele apenas descreve uma maneira de ligar o amplificador de dois canais, com o objetivo de integrá-los num só, e com isso obter nesse canal único potência de saída superior à de cada canal, individualmente considerado.

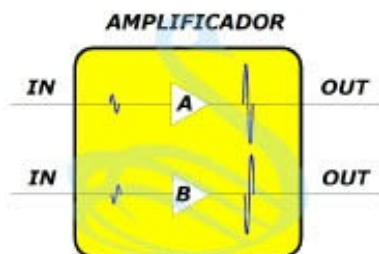


figura 4.180 ilustração de amplificador de dois canais preparado para operação em ponte acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Oriente-se pela figura 4.180.

Um dos canais de entrada, o canal A na figura, é alimentado normalmente. O outro canal, o canal B da figura, é alimentado com o sinal de entrada defasado em 180°.

Os sinais amplificados nas saídas dos canais ficam naturalmente fora de fase, como mostra a figura. Se apenas somássemos esses canais, teríamos o cancelamento das saídas. Mas vemos

na figura que quando a voltagem aumenta positivamente num canal, ela aumenta negativamente no outro, e vice-versa.

Se tomarmos o sinal combinado entre os terminais positivos dos dois canais, temos a cada instante o valor diferencial das voltagens.

E assim podemos nos valer desse efeito diferencial para obter na saída uma voltagem que teoricamente é igual ao dobro da de cada canal de per si.

Essa é a essência da ligação ponte. Nessas condições de ligação, a impedância da carga não deve ser inferior ao dobro daquela especificada como mínimo para cada canal.

Vejamos como isso funciona na teoria, tomando o exemplo de um amplificador hipotético e ideal, cuja potência de saída em cada canal fosse 50 watts sobre 8 Ω e 100 watts sobre 4 Ω .

Quando tal amplificador operasse em sua potência nominal de saída, e com carga de 4 Ω , a voltagem entre os terminais de saída de cada canal seria dada por:

$$V_{100} = \sqrt{100 \text{ watts} \times 4 \Omega} = 20,0 \text{ volts}$$

Na operação em ponte a voltagem seria o dobro da anterior, isto é, 40 volts. E a carga deveria ser 8 Ω . Então, podemos calcular a potência de saída para operação em ponte:

$$P_{\text{PONTE}} = \frac{(40 \text{ volts})^2}{8 \Omega} = 200 \text{ watts}$$

Vemos então que essa potência é o dobro da soma das potências dos dois canais operando com cargas de 8 Ω .

A tabela 4.5 mostra que nem sempre essa potência teórica é obtida. O que ocorre por limitações do próprio amplificador.

A tabela 4.6 mostra a especificação de potência do amplificador da figura 4.181.

Fica claro, então, como num bom produto de projeto esmerado a ligação em ponte muitas vezes permite a obtenção da duplicação da potência efetiva de cada canal, como individualmente considerado.

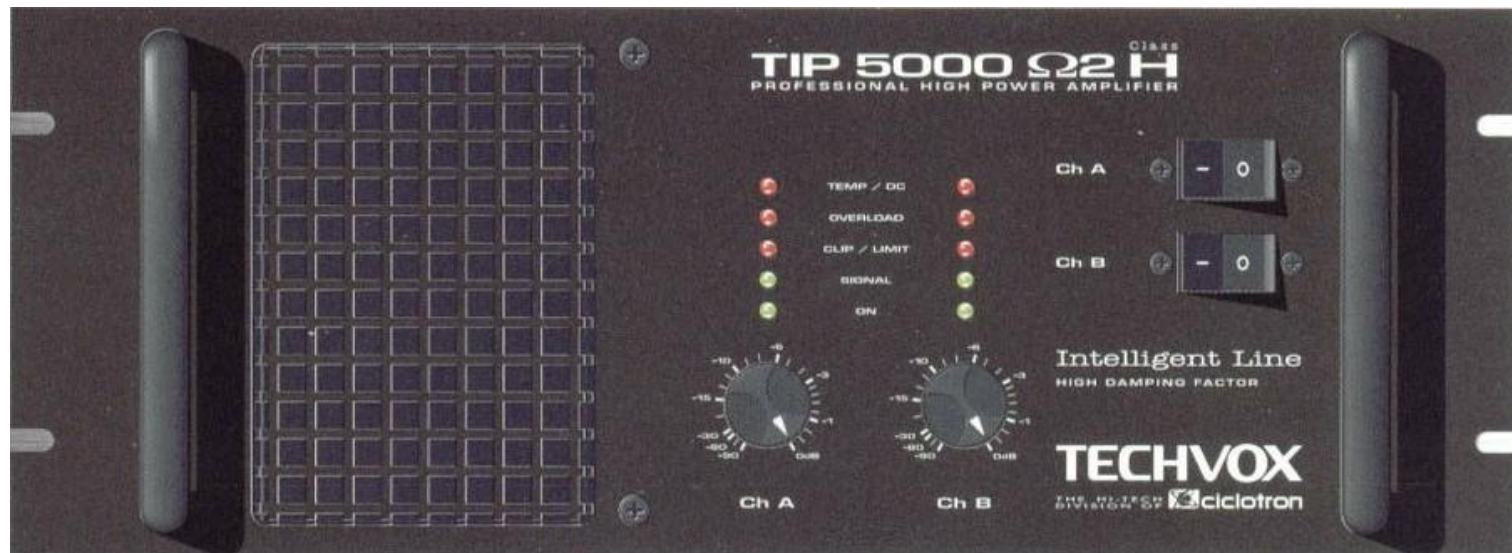


figura 4.181 aspecto do amplificador TIP 3000 Ω 2 da Ciclotron cortesia Ciclotron Indústria Eletrônica Ltda.

tabela 4.6

CONDIÇÕES	FTC 20 Hz a 20 kHz DHT < 0,1%
8 Ω , estéreo	495 watts RMS
4 Ω , estéreo	900 watts RMS
2 Ω , estéreo	1.500 watts RMS
4 Ω , ponte	3.000 watts RMS

4.5.2.2 Sensibilidade Essa especificação nos indica qual é a magnitude da voltagem na entrada do amplificador para que este atinja sua potência nominal de saída.

4.5.2.3 Resposta de Frequência A resposta de frequência de um amplificador é a medida de sua acuidade de amplificar igualmente sinais de frequências diferentes.

O ideal seria que, independentemente de frequência, todos os sinais dentro de um espectro determinado fossem amplificados de forma absolutamente igual.

Esta especificação costuma ser apresentada na forma gráfica ou na forma numérica. Na primeira, o fabricante apresenta um gráfico. O eixo das abscissas é graduado em frequência, e o das ordenadas em amplitude (dB relativos). Uma curva representa com que amplitude os sinais de cada frequência são amplificados. Quanto mais plana for a curva, menos desvios o amplificador introduzirá na amplificação das várias frequências.

E quanto mais extenso for o espectro ao longo do qual a curva é relativamente plana, melhor tende a ser a especificação. Na forma numérica, o fabricante especifica o espectro, seguido da variação em dB medida para o mesmo espectro. Por exemplo: 10 Hz a 40 kHz, $\pm 1,0$ dB, carga de 8 Ω , @ 1 watt.

O que significa que a medição foi tomada com carga de 8 Ω , e com potência de saída de 1 watt. Para o caso de amplificadores, geralmente a forma é a numérica, e as medidas feitas

mesmo ao nível de 1 watt.

Embora a resposta de frequência seja uma especificação importante para os amplificadores, ela também o é para todo e qualquer outro aparelho de áudio.

Em muitas aplicações não há necessidade de respostas de frequência de 20 Hz a 20 kHz. Por exemplo, em sistemas multiamplificados. Ainda assim, nunca é conveniente usar esses casos como escudo para selecionar amplificadores com especificações inferiores de resposta de frequência. O que não é difícil porque atualmente é relativamente simples construir amplificadores capazes de responder de 20 Hz a 20 kHz, ou mais, dentro de frações de dB, e aos níveis nominais de potência de saída.

4.5.2.4 Banda Passante

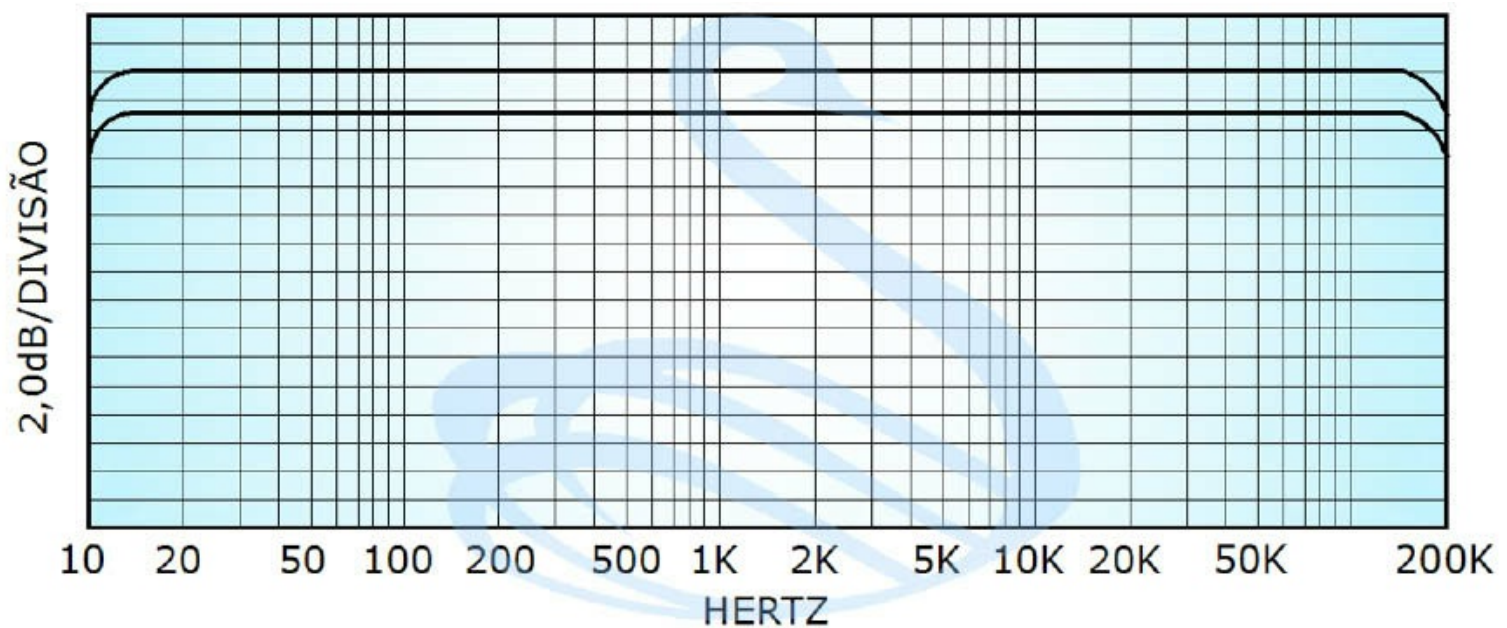


figura 4.182 ilustração de especificação de banda passante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Muita gente confunde resposta de frequência com banda passante. Esta última informa a habilidade do amplificador em operar com elevados níveis de potência a partir de sinais com um amplo espectro de frequências.

Dessa maneira, a especificação da banda passante é um complemento da especificação de potência de saída.

A banda passante é a parte do espectro contida entre duas frequências limite, nas quais o amplificador ainda é capaz de produzir metade (-3,0 dB) da potência nominal sem clipamento.

Como no caso da resposta de frequência, a especificação pode ser apresentada numérica ou graficamente, como ilustra a figura 4.182

Ao olharmos para a figura, vemos que há grande semelhança entre ela e a especificação gráfica da resposta de frequência. Entretanto, o que a figura 4.182 mostra é a máxima potência que o amplificador é capaz de entregar dentro do espectro considerado. Além disso, seria errado assumir que a banda passante é obtida com níveis fixos de sinal de entrada ao longo do espectro.

Quando a banda passante é muito limitada, a resposta de frequência pode ser afetada.

Com efeito, quando isso ocorre e o amplificador é muito exigido nas frequências extremas, ele pode amplificar menos do que o desejado ao operar aos níveis máximos de potência. Não obstante sua resposta de frequência seja muito ampla a baixos níveis de potência.

4.5.2.5 RRMCM de Entrada A RRMCM, ou **Relação de Rejeição de Modo Comum** de entrada, nos mostra a capacidade que o amplificador com entradas balanceadas tem de ignorar ruídos de modo comum que chegam pela entrada. Esses ruídos podem ser induzidos nos cabos de interligação.

Para que pudéssemos interpretar corretamente a especificação, o ideal seria que os fabricantes informassem a RRMCM de seus produtos num gráfico amplitude x frequência. Isto porque qualquer aparelho convencional possui elevada RRMCM em baixas frequências. Mas é nas altas que a porca torce o rabo.

4.5.2.6 Distorção Harmônica Total (DHT) Como nenhum amplificador é perfeito, quando se injeta um tom puro em sua entrada, sua saída apresentará, além dele próprio, frequências harmônicas. Exemplo, um amplificador em cuja entrada se aplica um sinal de 200 Hz apresentará em sua saída, além desse mesmo sinal, componentes de 2ª harmônica (400 Hz), 3ª harmônica (600 Hz), 4ª harmônica (800 Hz) e assim por diante. Esses componentes podem ser aferidos individualmente, ou no total. Neste último caso, o valor aferido é a distorção harmônica total.

Na maioria dos bons amplificadores a DHT é tipicamente inferior a 0,05% a 1 kHz e ao nível da potência nominal de saída.

4.5.2.7 Distorção por Intermodulação (DIM) Esta outra forma de distorção ocorre quando há pelo menos dois tons puros simultaneamente aplicados na entrada do amplificador.

Os tons se combinam para criar sinais que correspondem a somas, subtrações, multiplicações, *etc.* das frequências dos tons originais.

A medição da DIM é feita de acordo com o padrão estabelecido pela Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE), que utiliza dois sinais, um de 60 Hz e outro de 7 kHz, numa proporção de 4:1.

A audição da distorção por intermodulação é subjetivamente muito mais desagradável do que a da distorção harmônica.

4.5.2.8 Impedância de Entrada Nos mostra qual é o módulo da impedância dos circuitos de entrada do amplificador. Voltaremos com detalhes à questão do módulo da impedância no

4.5.2.9 Fator de Amortecimento Uma das leis da mecânica, proposta por Newton, enuncia que um corpo em repouso assim permanece até que uma força externa o ponha em movimento, e que um corpo em movimento permanece em movimento e com velocidade constante até que surja a ação de uma força externa.

Essa lei, que permanece tão atual hoje quanto na época em que foi proposta, é o princípio da inércia. E que também se aplica aos alto-falantes.

Então, uma vez que a bobina móvel seja energizada, o cone adquire movimento. E no instante em que a energia deixa de ser entregue à bobina, o cone ainda tende a se movimentar. Por uma questão de inércia.

Contudo, esses movimentos inerciais do cone são de todo indesejados por várias razões.

Uma porque os sons assim produzidos certamente não fazem parte do programa original entregue para amplificação. Logo, são apenas distorções.

Outra porque, assim como o falante se movimenta quando se aplica voltagem em sua bobina móvel, ele também gera voltagem quando o cone está em movimento inercial. É a chamada força contra eletromotriz. Que deve ser, de uma ou de outra forma, absorvida pelos amplificadores.

Pois bem, fator de amortecimento é a medida da habilidade que um amplificador apresenta na absorção dessa força contra eletromotriz. E portanto, o grau de controle que ele exerce sobre esses movimentos do cone. O controle provém de um caminho de baixa impedância que o amplificador apresenta para a força contra eletromotriz.

O fator de amortecimento de um amplificador é a relação entre sua impedância de carga e sua impedância interna de saída. Portanto, quanto menor for esta última, maior e melhor será o fator de amortecimento do amplificador.

Quanto mais elevado for o fator de amortecimento, mais precisa será a reprodução de baixas frequências. Se você quiser medir o fator de amortecimento de um amplificador aplique a seguinte expressão:

$$D_F = \frac{Z_C}{Z_A} \quad (4.22)$$

onde

D_F é o fator de amortecimento Z_C é a impedância nominal de carga em Ω , e Z_A é a impedância de saída nominal do amplificador, também em Ω

Para determinar Z_A é preciso medir a voltagem de saída do amplificador a circuito aberto, chamando-a de V_{CA} , e depois, medir a voltagem V_C sobre a carga nominal Z_C . E calcular

$$Z_A = \frac{V_C \cdot V_{CA}}{V_C} - Z_C \quad (4.23)$$

Alguns autores preferem somar a resistência ôhmica da bobina móvel ao denominador da expressão 4.21, do que resultam valores de fator de amortecimento muito inferiores.

4.5.2.10 Slew Rate

O slew rate é a aferição da capacidade de resposta de um amplificador a mudanças muito rápidas que ocorrem na voltagem do sinal. A especificação é feita em volts/microssegundos.

Quanto mais elevada for a figura, mais rápido será o slew rate.

Quando o amplificador não é suficientemente veloz, sua habilidade de tratar transientes musicais e formas de onda complexas, especialmente em níveis elevados, fica comprometida.

Se lembrarmos que os transientes musicais ocorrem principalmente nos picos de programa, onde a demanda por energia é maior, poderemos perceber a importância desta especificação.

Vimos que a voltagem de saída de um amplificador pode ser calculada extraindo-se a raiz quadrada do produto potência de saída x impedância de carga. Portanto, para uma dada carga, quanto maior for a potência, mais elevada será a voltagem de saída.

Assim, quanto maior for a potência de saída maior deve ser o slew rate, pois maior será a excursão de voltagem pico-a-pico em sua saída.

Entretanto, valores consideravelmente elevados de slew rate podem indicar uma banda passante exagerada. O que, por sua vez, pode indicar uma certa propensão do aparelho para não lidar bem com sinais de RF, do que podem resultar as interferências de RF.

Quando esse é o caso, tais sinais costumam provocar distorções de difícil identificação, desperdício de energia e sobreaquecimento dos semicondutores em geral, e dos de saída em particular.

4.6 CROSSOVERS ATIVOS

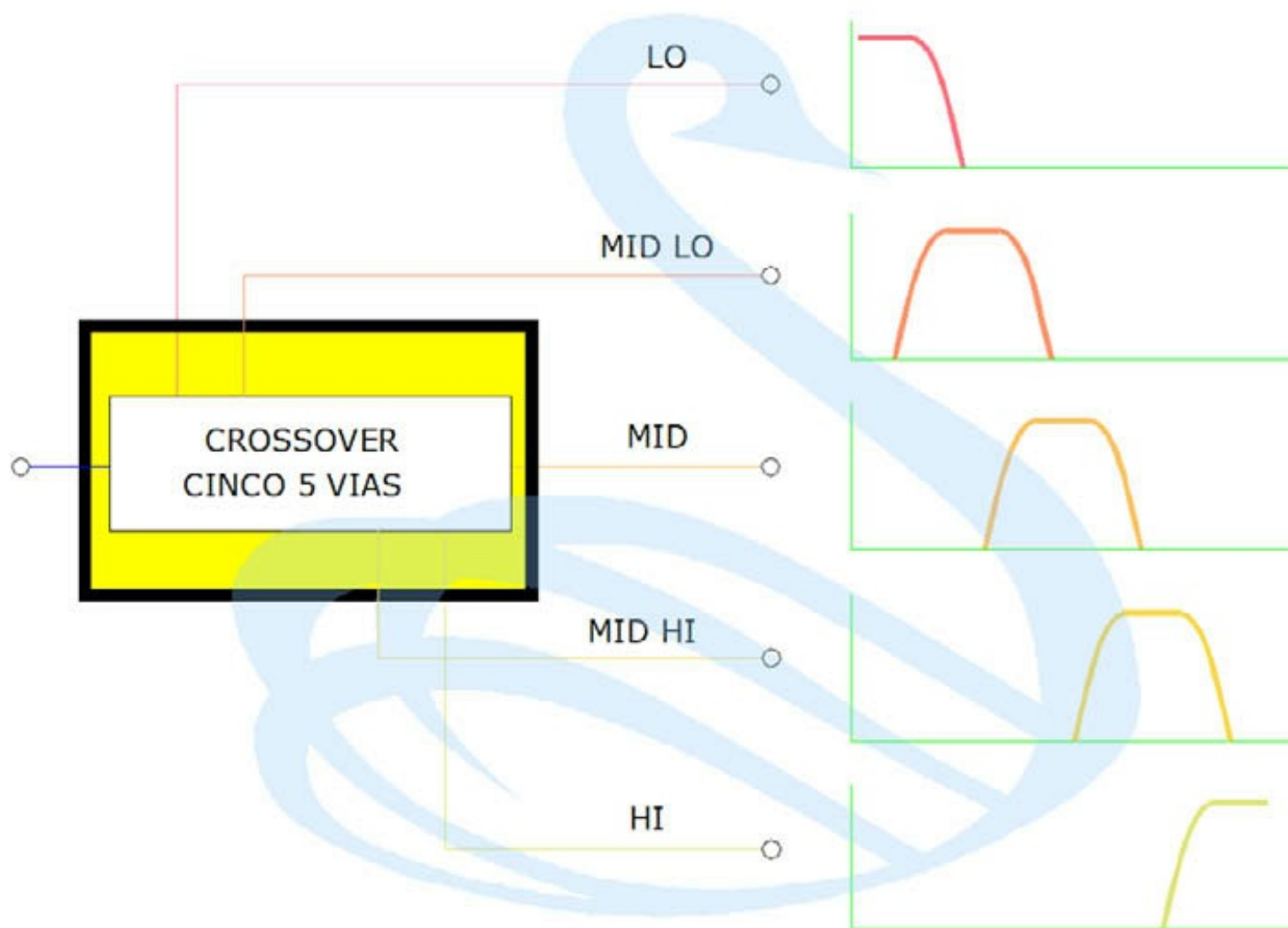


figura 4.183 formas de onda nas saídas de um crossover de cinco vias acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Crossovers ativos, ou crossovers eletrônicos, com também são conhecidos, são aparelhos projetados para dividir o espectro de frequências de áudio em dois ou mais segmentos. Eles são essencialmente construídos a partir de filtros ativos.

No crossover de duas vias há um filtro passa baixas e um passa altas. De modo que o espectro acaba dividido em dois segmentos, o das altas e o das baixas frequências.

Os crossovers de três vias incluem um filtro passa baixas, um passa bandas e um passa altas. E agora o espectro fica dividido em três segmentos.

O crossover de quatro vias possui um filtro passa baixas, dois passa bandas e um passa altas. E assim por diante.

Em áudio profissional a praxe é usar crossovers de duas, três, quatro e cinco vias. Embora o espectro possa ser dividido em mais segmentos.

Filtros ativos podem ser ligados em cascata, de modo a aumentar a inclinação da curva de atenuação. Portanto, podem ser facilmente conseguidos filtros de 1ª ordem (6,0 dB/oitava), de 2ª ordem (12 dB/oitava), ou de 3ª ordem (18 dB/oitava), ou ainda de 4ª ordem (24 dB/oitava). E mesmo mais.

Em alguns crossovers as frequências de transição entre os filtros são fixas e imutáveis. Em outros, são fixas mas podem ser mudadas por substituição de componentes ou de pequenas placas de circuitos impressos. E há também os crossovers nos quais as frequências de

transição podem ser ajustadas pelo usuário a partir do painel frontal.

A figura 4.183 mostra as formas de onda em cada uma das saídas de um crossover de cinco vias.

Alguns crossovers são monofônicos, outros são de dois canais. Tanto os monofônicos quanto os de dois canais são fabricados em versões de duas, três, quatro e cinco vias.

O uso dos crossovers está intimamente associado aos sistemas multiamplificados, discutidos adiante neste livro.

Os filtros ativos, geralmente construídos com circuitos integrados, podem produzir resultados muito semelhantes aos dos filtros passivos, eliminando a necessidade de bobinas de grande tamanho.

Geralmente esses filtros possuem elevadas impedâncias de entrada, e baixas impedâncias de saída, do que resulta boa isolação.

Além disso, filtros ativos são facilmente sintonizáveis, e podem produzir ganho.

Como os componentes dos filtros ativos são resistores e capacitores, não sendo utilizadas bobinas, a necessidade de blindagem não é elevada.

Mas os filtros ativos também apresentam desvantagens. Inicialmente, eles só operam a partir de uma fonte de alimentação. Depois, são sempre menos confiáveis do que os passivos. E o mais importante, possuem menor gama dinâmica. O limite inferior é imposto pelo nível de ruído da circuitação do crossover, e o limite superior pela máxima excursão possível antes do clipamento.

Por isso mesmo, os crossovers eletrônicos são chamados circuitos de baixo nível. O que é apenas uma maneira de informar que eles não podem ser utilizados como os passivos, que são colocados entre os amplificadores e os alto-falantes. Ao invés disso, estes aparelhos ficam sempre antes dos amplificadores. Daí o termo baixo nível.

4.7 ALTO-FALANTES E CAIXAS ACÚSTICAS

Quero lembrar que o termo projetor de som pode ser empregado neste texto para abranger qualquer tipo de transdutor eletroacústico capaz de converter energia da forma elétrica para a acústica. E também, qualquer combinação de tipos e quantidades de transdutores.

4.7.1 Cone e Bobina Móvel O alto-falante convencional com cone e bobina móvel, o transdutor eletrodinâmico por excelência, ou radiador direto, é certamente o mais conhecido e usado de todos os projetores de som.

Ele funciona de acordo com o seguinte princípio. Quando uma corrente elétrica percorre um condutor elétrico, forma-se em volta do condutor um campo magnético. Se esse condutor

for enrolado em forma de bobina, então o campo aumenta consideravelmente.

Se a bobina está mergulhada num campo magnético, o campo magnético da bobina interage com o campo magnético produzido pelo circuito magnético, do que resulta uma força que é aplicada na bobina.

Se esta corrente é do tipo CA, o campo elétrico alterna-se em resposta à frequência da corrente aplicada.

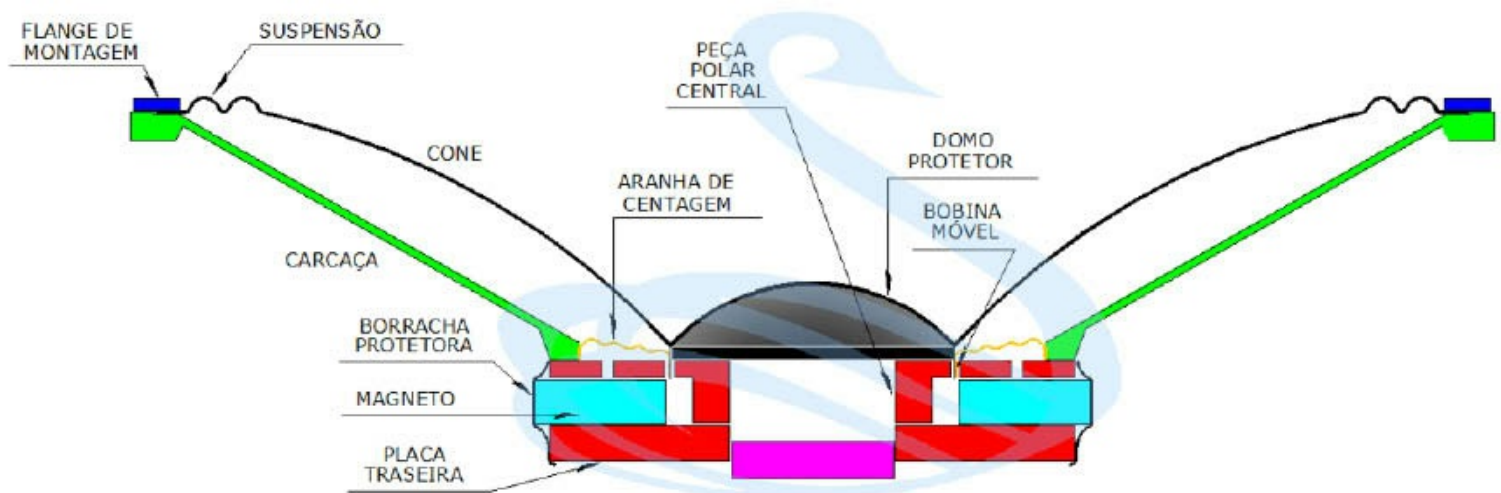


figura 4.184 corte de um alto-falante eletrodinâmico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.184 mostra o corte de um falante eletrodinâmico, onde as diversas partes estão indicadas por seus nomes.

A carcaça é a base mecânica para a montagem de qualquer falante desse tipo que, de modo geral, pode ser dividido em duas partes: o sistema motor e o sistema móvel.

O sistema motor é formado pelo magneto permanente e pelas peças polares. Esse conjunto é o responsável por produzir um forte campo magnético no entreferro, que é o nicho circular onde fica a bobina móvel.

O sistema móvel é formado principalmente pelo cone e pela bobina móvel. Essas duas partes são montadas fisicamente solidárias.

Em sua parte externa, o cone é montado na carcaça através de uma suspensão, ou borda. Esta é uma peça flexível que permite que o cone se movimente para a frente e para trás.

Em sua parte interna, ou apex, o cone é montado na carcaça através da aranha de centragem, que além de permitir os movimentos do cone, tem a função de mantê-lo sempre centrado em relação ao conjunto. Como mostra a figura, é nessa parte que a bobina é fixada ao cone.

Operacionalmente, quando uma corrente elétrica passa pela bobina móvel, ela se move na frequência da corrente. E com isso movimenta também o cone. Que é quem vibra para produzir som.

O projeto de qualquer falante é sempre uma solução de compromisso. Por exemplo, para a reprodução das altas frequências, o que se deseja é um cone pequeno e um sistema móvel bastante leve. Inversamente, para a reprodução das baixas frequências é preciso que o cone

seja grande e muito rígido, o que faz do sistema móvel algo relativamente pesado.

Os primeiros falantes construídos eram do tipo “full range”, isto é, eram projetados para reproduzir, dentro das limitações técnicas inerentes à ideia, toda a gama de frequências audíveis. No caminho do desenvolvimento vieram então os falantes especializados na reprodução de segmentos do espectro total de áudio, de modo a reduzir os compromissos de projeto.

Assim surgiram termos como woofer, midrange, squawker, tweeter, etc., para designar cada um desses falantes.

subwoofer

Subwoofer é geralmente o nome dado a um alto-falante e/ou a uma caixa acústica dimensionada para operar no segmento mais baixo do espectro de áudio. Tipicamente de 20 a 100 Hz. Entretanto, também há alto-falantes projetados para reproduzir apenas as frequências muito baixas, a partir de 20 Hz.

Quanto mais baixa é a frequência que deve ser reproduzida pelo falante, maior deve ser o deslocamento de ar promovido pelo cone do falante. O que significa que os cones devem ser de grande diâmetro, e as excursões consideravelmente longas. Além disso, a frequência de ressonância deve ser extremamente baixa. Para obtê-la, trabalha-se com o binômio massa do sistema móvel, ou massa dinâmica do falante, e sua compliância. Quanto maior é a massa dinâmica, e mais elevada a compliância, mais baixa é a frequência de ressonância do falante. Ou frequência de ressonância do cone ao ar livre.

Esses falantes geralmente têm diâmetro nominal de 15” ou 18”.

woofer

O woofer é o falante projetado para reproduzir as baixas frequências, tipicamente de 40 Hz a 1 kHz.

Como no caso dos subwoofers, há necessidade de baixas frequências de ressonância.

Um dos requisitos mais desejados nos woofers é que eles tenham elevada eficiência. Para conseguir isso nas baixas frequências é preciso trabalhar com fortes campos magnéticos.

Outra forma de obter elevada eficiência é reduzindo a massa do cone. Entretanto, o preço a pagar por isso geralmente é um aumento dos níveis de distorção do falante.

Os diâmetros nominais mais comuns dos woofers profissionais são 12, 15 e 18 polegadas.

midranges

Estes são falantes especializados na reprodução de médias frequências. Tipicamente de 1 a 8 kHz.

Os diâmetros nominais são tipicamente 6, 8 e 10 polegadas.

Agora as frequências de ressonância não precisam ser muito reduzidas.

Há uma infinidade de possibilidades nos projetos de midranges, já que se pode trabalhar de modo intercambiável com os parâmetros área e excursão do cone, tamanho do sistema motor, material da bobina móvel, tamanho do entreferro, compliância, e outros.

tweeters

São os falantes destinados a reproduzir exclusivamente as altas frequências, geralmente a partir de 1 kHz.

Os tweeters de cone não são muito comuns em áudio profissional, porque suas eficiências são geralmente reduzidas. Além disso, com esses transdutores é difícil obter controle direcional.

Por essa razão são utilizados os supertweeters, discutidos adiante.



figura 4.185 woofer, midrange e tweeter na caixa Palladium P-17B
cortesia Paul Klipsch A figura 4.185 mostra um woofer, um midrange e um tweeter.

4.7.2 Drivers de Compressão e Cornetas O Bell System Technical Journal de 1928 trouxe um artigo assinado por E.C. Wentz e A.L. Thuras, cujo título era “A High Efficiency Receiver for a

Horn Type Loudspeaker of Large power Capacity”.

Essa matéria descrevia de forma bem detalhada os drivers de compressão, explicando pormenorizadamente porque a eficiência podia ser tão elevada quanto eles previam.

Do mesmo modo, o artigo mostrava de forma indubitável que o uso de uma pecinha chamada plugue de fase, como proposto pelo autor, permitia que o dispositivo aumentasse consideravelmente a largura da banda de trabalho, atingindo frequências bastante elevadas. A resposta de frequência excepcional também se devia à redução de ressonâncias acústicas na cavidade onde ocorria a compressão. Assim estava preparada toda a base teórica para a construção da primeira geração de drivers de compressão. Que já nasceu com diafragma de alumínio e bobina móvel enrolada com fita de alumínio no perímetro do diafragma. O primeiro driver de compressão, o Western Electric model 555, passou a ser comercializado a partir de 1933, quando o Bell Labs o incorporou a seu conjunto de falantes “Divided Range” de duas vias, desenvolvido anteriormente, em 1931.

A figura 4.186 mostra um autêntico e original driver 555 da Western.



**figura 4.186 driver de compressão Western Electric, modelo 555
cortesia Western Electric Co.**

O trabalho de Thuras e Wentz prosseguiu e, numa resposta soberba aos requisitos da indústria do cinema, eles aperfeiçoaram o driver de compressão praticamente para o que conhecemos hoje, exceto pelo uso de metais raros na formulação dos ímãs.

A figura 4.187 procura exhibir o interior genérico de um desses dispositivos.

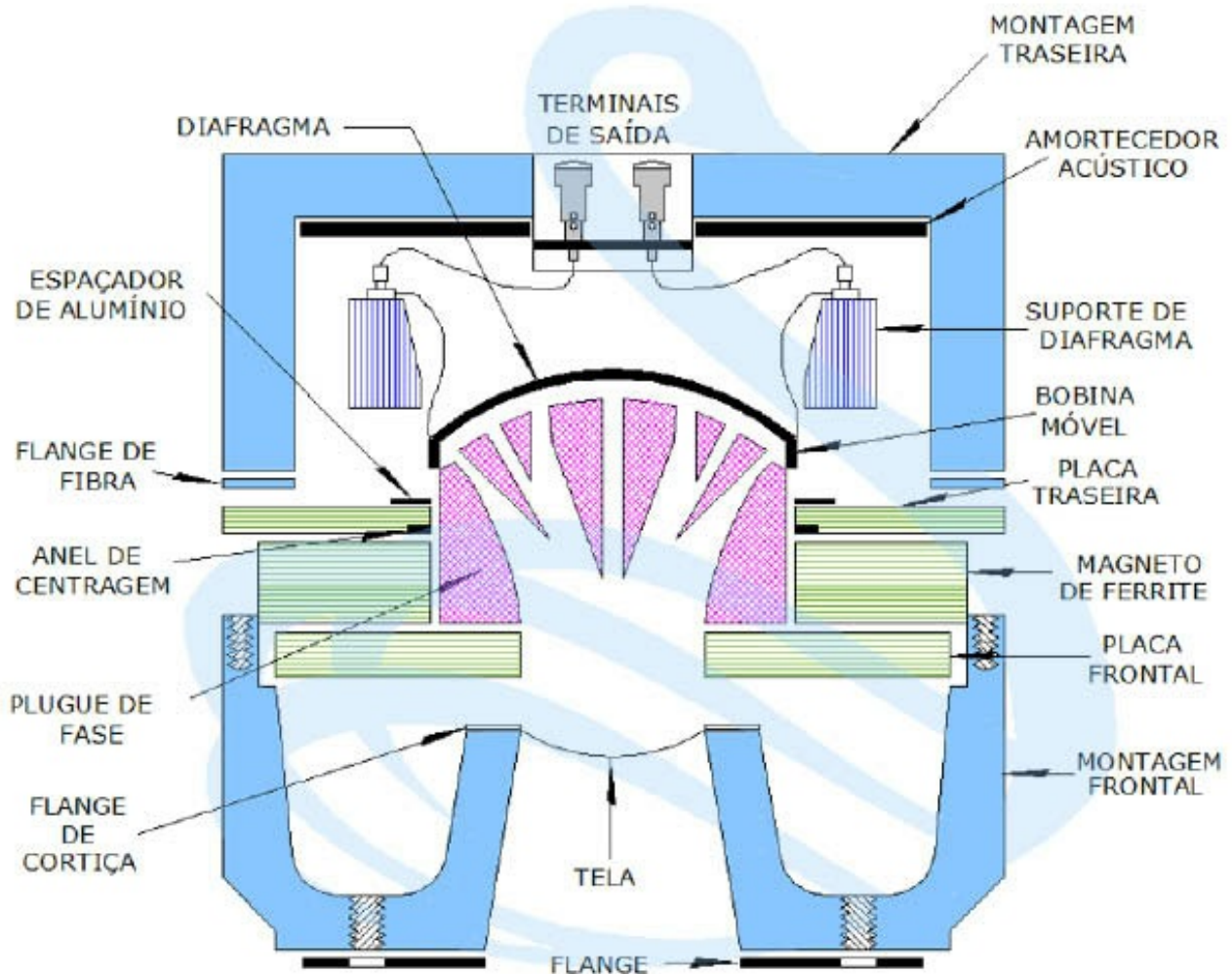


figura 4.187 driver de compressão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esse tipo de transdutor presta-se à reprodução das médias e altas frequências.

Os drivers de compressão basicamente são motores eletromagnéticos lineares, semelhantes aos dos falantes de radiação direta. Entretanto, ao invés de serem equipados com cones de papel ou de plástico, usam um diafragma metálico ou de resina fenólica, em forma de domo.

Como os diafragmas metálicos são construídos de forma que adquiram elevado grau de dureza e, ainda, são bem mais leves do que os de resina fenólica, eles são a escolha única para os drivers de mais qualidade.

Geralmente se usa o titânio ou algumas ligas especiais de alumínio. Assim, esses diafragmas são capazes de responder até os 20 kHz, ou mais.

Os drivers com diafragma de resina fenólica, usualmente de menos qualidade que os de diafragma metálico, têm sua resposta restrita a um teto aproximado de 5 a 8 kHz. Por isso, sua aplicação é limitada a alguns casos clássicos, a exemplo de sistemas paging.

Em quaisquer casos, adiante do domo está uma câmara, cujo objetivo é promover a compressão acústica dos sinais produzidos pelo diafragma. Eis porque ela é chamada de câmara de compressão.

A compressão imposta pela grande maioria das câmaras de praticamente todos os tipos de drivers é de aproximadamente 10:1.

A peça que acopla a câmara de compressão ao exterior é precisamente o plugue de fase.

Assim denominado porque sua função é fazer com que a energia produzida por toda a superfície do diafragma atinja a saída do plugue em fase. Trata-se de uma peça de projeto bastante complexo. Seu desempenho é fator determinante da eficiência do driver como um todo e da homogeneidade da resposta de frequência, como já haviam escrito Wentz e Thuras.

Os plugues de fase dos drivers com diafragma metálico são invariavelmente mais complexos do que utilizados nos drivers com diafragma de resina fenólica.

A compressão acústica, que dá o nome aos drivers, cria na região da saída do transdutor uma zona de alta pressão e baixa velocidade. E como resultado são obtidos níveis extraordinariamente elevados de pressão sonora.

Os drivers de compressão são projetados para trabalhar em conjunto com as cornetas acústicas. De fato, as cornetas se comportam como transformadores acústicos, transformando a zona de alta pressão e baixa velocidade na saída dos drivers e em sua entrada (garganta), em zona de baixa pressão e alta velocidade em sua saída (boca). E desse modo, servem como excelente carga acústica para os drivers, de um lado, e ainda, acoplam acusticamente os sinais ao meio ambiente, de outro.

Dessa forma, as cornetas têm o condão de aumentar significativamente a sensibilidade axial dos drivers, conceito que será discutido adiante.

A figura 4.188 mostra alguns drivers de compressão de origens diferentes. Na foto 1 você vê o driver JBL modelo 2446H. A foto 2 mostra o Eighteen modelo HD2080T que usei em vários projetos de caixas line array. A foto 3 é uma espécie de raio X de frente e verso do RCF CD350. Na sequência vem a foto 4 mostrando o Eminence ASD1001. O famoso e muito respeitado Altec model 902-8T está na foto 5 e, finalmente, na foto vemos 6 o DE950TN da B&C.

Portanto, podemos afirmar que os drivers de compressão foram concebidos como um universo em si, mas sim para trabalhar com as cornetas acústicas. Algo na linha do “unha e carne”.

Era fato conhecido que o desempenho do driver dependia, e muito, do desempenho da particular corneta usada. A rigor, era como um sistema. Cada parte desempenhando as suas próprias funções. As performances das partes deveriam ser compatíveis e complementares para que o conjunto resultasse não só muito bom, mas também previsível. Outro aspecto que os fabricantes apontaram de partida é que o interesse comercial ditava que cada driver pudesse trabalhar bem com algumas cornetas diferentes. Por exemplo, cornetas com diferentes ângulos de cobertura acústica.

Até mesmo por razões mecânicas nem todas as cornetas podem trabalhar com todo e qualquer driver de compressão. O mais comum é a situação do par driver-corneta projetado

simultaneamente, com a intenção de que eles sejam um conjunto harmônico.

Creio que esta é uma excelente oportunidade para entrarmos com um pouquinho mais de profundidade no assunto cornetas acústicas.



figura 4.188 aspecto visual de alguns drivers de compressão diferentes cortesia dos respectivos fabricantes mencionados no texto acima Em minha opinião as cornetas acústicas nasceram quando o ser humano começou a se comunicar no planeta terra. De fato, os homens das cavernas mais primitivos logo aprenderam que ao gritar, podiam se fazer ouvir muito mais longe quando levavam as mãos aos lados da boca, simulando uma forma embrionária e natural de corneta. Como sugere a figura 4.189.



figura 4.189 homem das cavernas usando as mãos para simular uma corneta acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 4.190 cornetas do passado bem remoto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Formas muito toscas de cornetas já existiam 25.000 anos AC. Como por exemplo na Mesopotâmia. Pouco depois surgiram outras formas de corneta, como as buccinas romanas e os famosos cornus. Veja na figura 4.190.

Da esquerda para a direita: corneta mesopotâmica de 27 séculos atrás, buccina romana e cornu clássico.

No início dos anos 1800 na Inglaterra, quando já eram populares as carruagens movidas a vapor, foi promulgada uma lei que obrigava os condutores a alertar pedestres de sua presença

e possível perigo. Para tanto, eles deveriam acenar com uma bandeira vermelha e soprar uma corneta. Que logo se tornou a corneta equipada com um bulbo de borracha, como a que usava o nosso querido Chacrinha. Veja na figura 4.191.



figura 4.191 Chacrinha com sua indumentária característica e a buzina que chegou a dar o nome a um de seus mais badalados programas de auditório cortesia Radio em Revista De 1880 a 1920 Thomas Edison, cientistas da Magnavox e da Victor Talking Machine, além de muitos outros, desenvolveram freneticamente as cornetas acústicas para uso em seus aparelhos de reprodução de cilindros e de discos fonográficos.

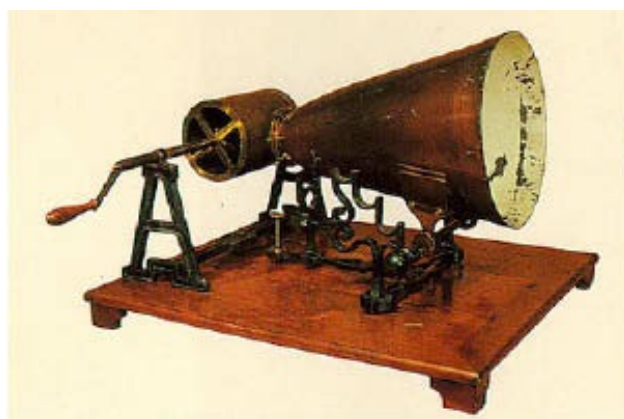


figura 4.192 da esquerda para a direita: phonoautograph de Leon Scott 1885, fonógrafo de Edison 1887 e gramofone de Berliner 1888

cortesia Research Tech Center A figura 4.192 deixa claro como as cornetas acústicas faziam parte integrante dos fonoautógrafos, dos fonógrafos e dos gramofones.

A figura 4.193 exibe um desenho muito peculiar de corneta, precursora das cornetas multicelulares. Note na figura, logo abaixo do toca-discos e acima das prateleiras para guarda dos discos, que a corneta multicelular já vinha equipada com duas abas laterais, as quais possibilitavam incrementar a diretividade da corneta, dependendo de como eram anguladas.

Nessa época, o desenvolvimento das cornetas estava muito centrado na pesquisa e uso de novos materiais. Além disso o estudo de novas formas geométricas ocupava muito tempo dos

cientistas, já que era um assunto que podia ser explorado de forma ilimitada. O comprimento total das cornetas e, particularmente, as dimensões das bocas cerravam fileiras com os tópicos acima citados como temas de estudos, pesquisas e análises científicas visando o desenvolvimento progressivo das cornetas.



figura 4.193 corneta multicelular da famosa Victrola 350, com suas abas laterais de direcionamento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Com efeito, os cientistas de então ficaram logo sabendo que as dimensões da boca das cornetas constituíam fator determinante da mais baixa frequência que podia ser reproduzida.

Os estúdios da época que faziam gravações acústicas dependiam crucialmente das cornetas, como os atuais dependem dos microfones. Eis porque todos esses estúdios investiam fortunas no desenvolvimento das cornetas, em grande parte terceirizado para laboratórios que se especializaram nisso. A qualidade dessas cornetas determinava a qualidade dos cilindros e dos discos produzidos.



figura 4.194 estúdio de gravação acústica típico utilizado de 1900 a 1925, no caso da Victor Talking Machine, evidenciando a corneta que captava o campo de som para a produção dos discos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Pode-se suspeitar, então, que a tecnologia por trás das cornetas se hoje está fundamentada em séculos e séculos de estudos, de pesquisas, de averiguações, de experimentos em campo e, mais recentemente, de testes de laboratório e de campo, de exames detalhados, análises e até mesmo de enormes investimentos. Tudo esse esforço resultou num expressivo acervo de

conhecimentos.

Não é nenhum segredo de Polichinelo que há diversos tipos de cornetas acústicas. Até porque elas usualmente são concebidas de acordo com técnicas muito diferentes de projeto.

Do mesmo modo, há inúmeras técnicas construtivas, cada qual aplicável a uma determinada família de cornetas.

Existem cornetas fabricadas com formas geométricas bem distintas entre si, em diferentes tamanhos e acabamentos muito variados.

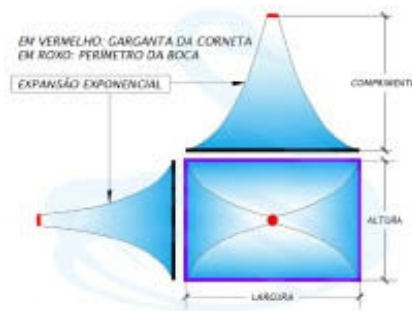


figura 4.195 corneta convencional e suas dimensões acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Qualquer corneta acústica convencional possui uma extremidade com área transversal menor, denominada garganta, que se expande para a outra extremidade, com área transversal maior, denominada boca. Veja na figura 4.195. Observe que a toda a estrutura física da corneta proporciona uma transição gradual através de seu comprimento. Com isso, a impedância na garganta pode ser ajustada ao espaço livre que está após a boca da corneta, com o que a energia gerada pelo driver de compressão pode ser radiada de forma eficiente para todo o recinto envoltório.

Dependendo de como é feita a expansão das cornetas, elas podem adquirir formas típicas e nomes que lhes correspondem. Tais como cornetas cônicas, exponenciais, hiperbólicas, parabólicas, catenóides, combinações e algumas outras.

Não por coincidência, todos esses nomes também são dados a cornetas usadas em sistemas de antenas de RF. As cornetas de RF têm funções semelhantes às das cornetas de áudio, exceto que as primeiras trabalham com frequências de radiofrequência, tipicamente acima de 3 GHz.

Uma das cornetas mais simples usadas em áudio profissional por anos a fio foi a corneta sectoral, também conhecida como corneta radial. Em muitos meios o termo sectoral é associado a cornetas que possuem um dos ângulos de cobertura muito reduzido, em geral o ângulo vertical.

Via de regra a expansão é exponencial e a largura da boca maior do que a altura.

A figura 4.196 mostra as cornetas radiais. No caso, montadas nas caixas Altec Lansing model 15.



**figura 4.196 cornetas sectorais nas partes superiores das caixas Altec model 15
cortesia Altec Lansing Co.**

As cornetas multicelulares, empregadas a partir de 1933, são apenas um conjunto de pequenas cornetas radiais, ou células simétricas, montadas a partir de uma garganta comum. Como mostra a figura 4.197.



figura 4.197 corneta multicelular cortesia Altec Lansing Co.

Desde o início, a intenção desse projeto foi permitir melhor controle de diretividade. Um recurso interessante dessa forma de corneta é que os ângulos de cobertura podem ser ajustados pelo usuário, bastando que uma ou mais células fossem inibidas mediante colocação de um tampão aplicada individualmente por célula, pela parte frontal.

Entretanto, as cornetas multicelulares apresentavam alguns problemas intrínsecos. Inicialmente, sua construção era muito complexa, o que resultava em preços relativamente elevados.

Depois, elas apresentavam uma tendência de forte atenuação a partir de uma dada frequência, tipicamente 5 a 6 kHz.

A concentração das altas frequências no eixo principal de cada célula era um efeito bastante pronunciado, a ponto de muitos especialistas entenderem que as multicelulares não apresentavam características de distribuição adequadas para trabalhar em sistemas que deviam produzir respostas de frequência relativamente amplas. Finalmente, como consequência de difrações no perímetro da boca, a concentração de médias frequências nos planos horizontal e vertical era uma das marcas mais típicas dessas cornetas.

Apesar disso, as multicelulares ainda podem ser uma escolha razoável para muitas aplicações.

A razão maior disso é que muitos engenheiros de áudio consideram que elas produzem sons com mais qualidade do que muitas cornetas radiais. Especialmente nas frequências mais baixas da faixa de trabalho.

A mais baixa frequência para a qual uma corneta ainda é útil é algo diretamente relacionado com o tamanho de sua boca, e com sua taxa de expansão.

Ou seja, a boca e o comprimento da corneta devem ser tão maiores quanto mais baixa é a frequência que queremos reproduzir.

A corneta dobrada foi uma forma imaginada para reduzir o espaço ocupado por uma corneta que ainda mantivesse comprimento suficiente para reproduzir frequências relativamente baixas. Essas são cornetas fisicamente dobradas sobre si próprias, o que lhes confere dimensões moderadas, e que ainda possui um grande caminho acústico para os sons.

Com isso, o tamanho final desses dispositivos ainda é considerado adequado para a maioria das aplicações.

As cornetas dobradas sacrificam as altas frequências, o que decorre das curvas feitas nas dobras. Os desenhos são geralmente complexos, assim como as respectivas construções. Embora o preço seja algo elevado, as aplicações das cornetas dobradas são inúmeras.

Um dos exemplos clássicos de corneta dobrada é a Cobraflex da University Sound, divisão da Bosch/ElectroVoice, ilustrada na figura 4.198.

Uma das cornetas que ganhou a adesão de muitos profissionais do áudio e mesmo de audiófilos, foi a corneta “Tractrix”.

Sua expansão é baseada numa postulação matemática que estabelece que a tangente em qualquer ponto da expansão curva da corneta até o seu centro acústico deve ser igual a um segmento de linha reta de determinado comprimento.



figura 4.198 cornetas Cobraflex modelo IIB

cortesia University Sound/ElectroVoice/Bosch Já na boca da corneta tractrix, o segmento de linha reta deve ser perpendicular ao eixo e descrever o raio da própria boca.

Tudo isso foi profundamente pesquisado por Paul Voigt em meados dos anos 20 e patentado no final daquela década.

O tamanho das cornetas tractrix depende da mais baixa frequência a ser reproduzida ou, alternativamente, as dimensões da boca determinarão essa frequência.

Depois de Voigt muitos foram os que estudaram essas cornetas, incluindo cientistas de universidades e Paul Klipsch.

É por essa razão que as cornetas Tractrix ainda são utilizadas em muitas caixas fabricadas atualmente, a exemplo das caixas Klipsch. Como mostra a figura 4.199.



figura 4.199 linha Klipsch RF-7 II Reference Home Theater Floorstanding cortesia Klipsch Group, Inc.

A figura 4.200 mostra que as cornetas tractrix podem assumir formas mais parecidas com coisas que vemos atualmente, tanto em produtos de consumo quanto nos de aplicação profissional.

Uma das coisas que sempre incomodou bastante a indústria foi a diretividade das cornetas, que tendia para o afunilamento progressivo com o aumento da frequência. O que dificultava sua aplicação profissional em grandes espaços.



figura 4.200 corneta tractrix com formato renovado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

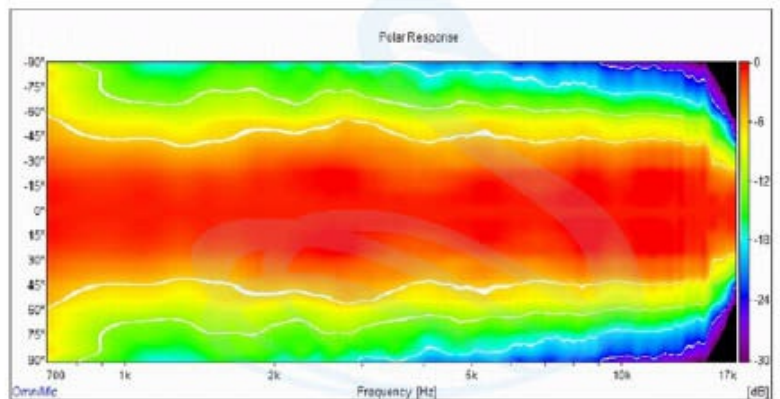
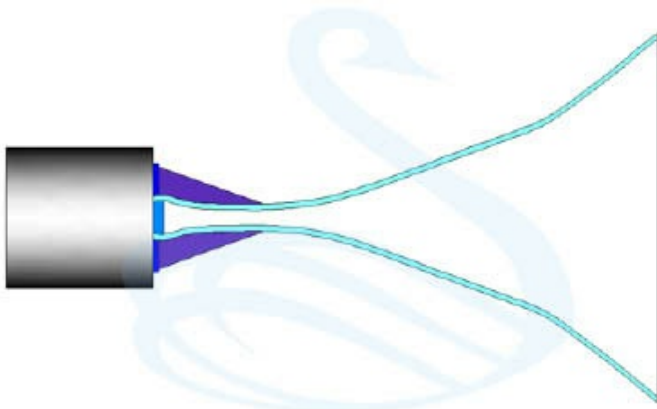


figura 4.201 ideia da corneta de diretividade constante e padrão típico de diretividade espectral acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No início dos anos 70 muitos especialistas e fabricantes começaram a estudar uma fórmula que fosse capaz de neutralizar esse problema, ainda que parcialmente. Até que em 1974/1975, Don Keele, então trabalhando para a ElectroVoice, produziu um modelo de corneta híbrida, no qual a expansão era inicialmente exponencial mas, a partir de um determinado ponto, ela se transformava em expansão cônica bem pronunciada.

Aproximadamente como mostra a figura 4.201. Do lado esquerdo está a geometria básica imaginada por Keele e, do lado direito, uma ideia grosseira de diretividade espectral. Uso o termo “ideia grosseira” porque essa mediação é feita a uma determinada distância fixa da corneta. Ora é fácil entender que com o aumento da distância há uma degradação da diretividade de qualquer corneta, de diretividade constante ou não. Trata-se de um problema de física, já que as mais altas frequências são muito mais atenuadas do que as médias e estas do que as altas.

Pense num trovão de relâmpago. Durante a próxima tempestade note que se o raio cai nas proximidades de onde você está, os estalidos metálicos de altas frequências são facilmente perceptíveis. Porém, quando o raio cai bem longo, além do atraso do som nota-se que o conteúdo sônico é apenas um rumor cujo conteúdo é apenas e tão somente de baixas frequências. Os médios e principalmente os agudos foram absorvidos pelo caminho.

É esse mesmo fenômeno é principal responsável pela deterioração da diretividade das cornetas, como mencionei. Algo contra o qual dificilmente temos remédio. Se é que precisamos de remédio. Porque, se o fenômeno natural é como acabei de descrever, imagino que os engenheiros de áudio devem procurar características sônicas naturais. Portanto, nada a corrigir. A única exceção pode ocorrer se a inteligibilidade da palavra for reduzida a ponto do sistema de reforço perder sua utilidade prática.



figura 4.202 corneta de diretividade constante TOALE-M124 à esquerda e CSP Professional model 39H à direita cortesia TOA e CSP Professional A figura 4.202 mostra dois casos práticos de implementação real das cornetas de diretividade constante. A TOA com sua muito elegante LE-M124 e a CSP Professional com sua 39H de formato bem moderno.

As cornetas de diretividade constante são usualmente chamadas de CD, acrônimo para Constant Directivity.

Aos poucos, as cornetas sectorais foram sendo substituídas mais e mais pelas cornetas de diretividade constante.

O que podemos colocar, portanto, é que essa família de cornetas engenheirada por Don Keele são capazes de controlar bem melhor o efeito de concentração das altas frequências do que as cornetas até então existentes. Com efeito, esse projeto híbrido apresenta desempenho

muito bom em baixas frequências e excelente controle de cobertura angular nos planos horizontal e vertical, através de uma gama de frequências relativamente ampla.

Nessa ocasião, Don Keele apresentou um trabalho memorável na Audio Engineering Society, que oferecia as bases para o início de uma série de pesquisas.

O time de engenharia da Altec entendeu que desenhos como o da ElectroVoice culminavam necessariamente com dimensões de altura da boca inferiores à sua própria largura, em proporções semelhantes aos respectivos ângulos de cobertura. Depois de muito trabalho essa equipe encontrou uma fórmula que permitia aumentar a altura da boca independentemente da largura.

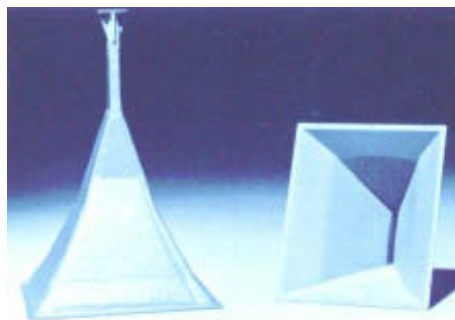


figura 4.203 corneta Manta-Ray cortesia Altec Lansing Co Assim nasceram as famosas cornetas Manta-Ray. Que, como mostra a figura 4.203, têm uma primeira seção de largura horizontal muito estreita, que funciona como uma corneta de difração desembocando num guia de onda, razão da reduzida dimensão horizontal com que é alimentada. Além disso, flanges que constituem uma terceira seção, ajudam a controlar a concentração das médias frequências.

Estas cornetas também são chamadas de uma segunda geração de cornetas de diretividade constante.

Uma das propriedades mais características das cornetas Manta-Ray é que elas podem ser desenhadas de forma que o ângulo de cobertura horizontal seja totalmente independente do ângulo de cobertura vertical.

Isto é, os ângulos de cobertura horizontal e vertical podem ser projetados à la carte sem restrições ou limitações. Ambos são totalmente independentes entre si.

Foi precisamente por essa razão que escrevi, na ocasião, um artigo para a revista Música, Áudio e Tecnologia, mostrando detalhadamente como se pode projetar com facilidade uma Manta-Ray para qualquer necessidade de cobertura angular.

Minha ideia foi possibilitar a construção de cornetas customizadas, para quaisquer aplicações, com um mínimo de esforço.

Vale a pena conferir esse exemplar da revista Música, Áudio e Tecnologia.

A família de cornetas Manta-Ray se constituiu num marco de partida para muitos desenhos novos de cornetas, com as quais o objetivo era oferecer maior controle de diretividade. E assim, os fabricantes passaram a perseguir essa ideia vencedora.

Após a introdução da família Manta-Ray, muitos fabricantes de cornetas sentiram que deveriam oferecer ao mercado produtos baseados no conceito diretividade constante.

Entre esses fabricantes estava a JBL, que chamou Don Keele para trabalhar em seu grupo de engenharia.

Partindo do trabalho que havia feito antes, e contando com os resultados de novas pesquisas já desenvolvidas na JBL, Don Keele mais uma vez conseguia bons resultados. E surgiram então as cornetas birradiais, ilustradas na figura 4.204.

Independentemente de taxa de expansão, formato e características de projeto, qualquer corneta tem a função de dirigir os sons. Isto é, direcioná-los. Tanto no plano horizontal quanto no vertical. E além disso, elas servem como complementos indispensáveis dos drivers.

Essas são as características mais importantes de qualquer corneta acústica. As vantagens dos novos projetos de cornetas é que o controle do direcionamento, ou a diretividade, é muito superior ao das cornetas anteriores.



figura 4.204 cornetas birradiais cortesia JBL Professional O acoplamento de algumas combinações driver-corneta é obtido graças a uma peça chamada adaptador. Que por mais incrível que pareça, também é de projeto muito difícil, em razão do elevado grau de complexidade da matemática empregada em seu cálculo. A figura 4.205 mostra alguns adaptadores.



figura 4.205 adaptadores para que cornetas e drivers de compressão possam ser acoplados cortesia Altec Lansing Co guia de onda

Pouco acima usei o termo “guia de onda”. Termo que, definitivamente, entrou na moda e se tornou muito popular.

Mas vejam só como as coisas podem ser. Há poucos anos desenhei uma corneta para uso em line array, que tecnicamente era uma **lente difratora**. Discuti sua produção com um fabricante conhecido que solicitou a terceiros fazer medições da performance dessa lente. Dias depois o fabricante me procurou muito entusiasmado com os resultados e disse que queria fabricar a tal lente. Mas me disse também que se chamássemos aquele produto de lente refratora não iria vender nenhuma unidade. Para vender muito ele teria que chamar a lente de “guia de onda”. Que, segundo o fabricante, é o que mercado quer. Portanto, guia de onda não só

é um termo da moda mas principalmente um catalizador mercadológico, servindo ou não a carapuça.

Assim são as coisas. Muitas cornetas denominadas pelos fabricantes guia de onda não o são.

Por isso, entendo que não é fora de propósito dedicarmos umas linhazinhas à discussão do tema “guia de onda”.

Creio que ficou bem claro que as cornetas de diretividade constante não foram imaginadas nem construídas do dia para a noite. Ao invés disso, foram a consequência de um longo e demorado processo de desenvolvimento. A cada ano se lançava mão de todo acervo de conhecimentos agregados até então.

Ocorre que a maioria das cornetas modernas são mesmo muito parecidas com as cornetas de diretividade constante. Mas, em alguns casos, a tecnologia empregada é distinta do que se utilizava quando essas cornetas surgiram.

Assim como acontece com os projetos de alto-falantes convencionais, os projetos das cornetas são, em essência, uma solução de compromisso aplicada à escolha dos parâmetros. Em geral nos vemos na contingência de ter que priorizar alguns deles, em detrimento de outros, de forma a adequar o produto a uma dada finalidade.

Parâmetros como impedância elétrica, coberturas horizontal e vertical, relação de diretividade e índice diretividade, resposta de frequência, distorção harmônica, frequência de corte inferior e outros, todos contribuem para determinar o comportamento final do produto. Como cada um desses parâmetros pode ser controlado, a solução de compromisso depende essencialmente do destino e das aplicações que se quer dar à corneta.

Disse antes que quando os fonógrafos e gramofones começaram a vender, as pesquisas com as cornetas eram uma realidade. Em 1919 o Sr. Arthur Gordon Webster publicou um trabalho memorável denominado “Acoustical Impedance and the Theory of Horns and of the Phonograph”. Uma das partes mais importantes desse trabalho é a expressão matemática proposta para analisar e calcular as cornetas. Por décadas a fio essa expressão se transformou na principal ferramenta dos projetistas de cornetas.

Também falamos bastante de diretividade. Para se definir cientificamente a diretividade de uma corneta é preciso saber antes a forma da frente de onda na boca da corneta.

A física nos diz que num tubo cuja seção transversal aumenta ou reduz progressivamente, a frente de onda deve permanecer sempre perpendicular à superfície interna. Logo, essa frente de onda **não pode ser plana**. Se a variação da seção transversal for moderada e o comprimento de onda relativamente grande, como ocorre nas baixas frequências, pode-se assumir, ainda com margem de erro aceitável, a ideia da frente de onda ser plana. Entretanto, à medida que a

frequência aumenta o erro vai se tornando maior até o ponto em que não pode mais ser tolerado. O que vale para as frequências médias e altas. Ora, as frequências de trabalho das cornetas.

Ora, para desenvolver sua equação, Webster considerou que a frente de onda era plana. O que não ocorre. Contudo, tal aproximação ainda era aceitável porque Webster não havia priorizado analisar a diretividade. Portanto, para o que ele pretendia tudo funcionava bem.

Por outro lado, muitos projetistas usaram a expressão formulada por Webster para calcular suas próprias cornetas. Na maioria desses casos os desvios entre a realidade e o que a expressão de Webster predizia era enorme. Não se trata de um erro da expressão, mas sim de usar a ferramenta inadequada para elaborar os dimensionamentos.

Muitos programas de modelamento de cornetas, como por exemplo o “Horncalc” partem do mesmo pressuposto que as frentes de onda são planas.

A partir de 1990 começaram a surgir novas propostas matemáticas para derivar cientificamente as cornetas. Cada uma dessas novas expressões foi formulada para ser adequada para uma dada aplicação e circunstância.

Na teoria dos guias de onda, apenas um tubo oco com paredes paralelas é, de fato, um guia de onda para frentes de onda planas. Formatos com expansão só podem ser chamados de guias de onda quando propagam frentes de onda curvas. Prova-se matematicamente que há apenas dois formatos que satisfazem plenamente essas exigências: o formato cônico para ondas esféricas e os setores esféricos para ondas cilíndricas.

Em todos os casos o que se procurava era uma maneira rigorosamente precisa que permitisse calcular a forma física da frente de onda na boca da corneta para, então, chegar à diretividade com rigor científico. Isso tudo veio bem a calhar porque a expressão de Webster só permitia calcular carga e impedância. Não diretividade.

Muitos passaram a chamar esse novo aparato matemático de “teoria dos guias de onda”.

Provavelmente os engenheiros de telecomunicações estão familiarizados com o termo. Porque guias de onda são lugar comum na teoria das antenas e, também, na propagação das ondas eletromagnéticas. Especialmente nas bandas de microondas.

Vamos então convencionar que guia de onda é qualquer estrutura capaz de conduzir ondas, tanto as eletromagnéticas quanto as ondas sonoras. Entre outras. Porque a luz também é conduzida por guias de onda, como as fibras óticas. Fica claro, então, que há vários tipos de guias de onda, cada um deles concebido para trabalhar com um particular tipo de onda.

Muitos alunos meus que começam a estudar a teoria aplicada às telecomunicações, me perguntam com ar suspeito se a teoria pode ser mesmo aplicada a ondas sonoras. Respondo sempre que os estetoscópios e os tubos de comunicação usados em navios antigos são bons

exemplos de guias de onda aplicados a ondas sonoras.

Entretanto, o sentido original e mais comum do termo “guia de onda” é o de um tubo oco, feito de material eletricamente condutor.

Essa estrutura é utilizada para transportar adequadamente ondas de rádio de altas frequências, como as microondas. Com esse sentido do termo, o guia de onda tem a tarefa de confinar a energia sendo propagada de modo que a direção de propagação seja “guiada” em uma única dimensão.

Usualmente a frequência a ser transportada estabelece a forma física do guia de onda. Como ideia de partida, tenha em mente que a largura do guia de onda deve ser da mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda da onda guiada.

O interior dos guias de onda deve muitíssimo ser bem polido de sorte a refletir o máximo possível todas as ondas incidentes. Isso vai assegurar que a energia no interior do dispositivo fique circunscrita e produza a menor perda interna possível.

A figura 4.206 mostra dois guias de onda típicos.



figura 4.206 guias de onda típicos para transporte de ondas de rádio de altas frequências cortesia Cysne Science Publishing Co Gostaria de introduzir agora o conceito de modo de propagação num guia de onda. Trata-se de uma forma de desenvolvimento da onda que é uma solução matemática de uma das equações de onda. A quem quiser desenvolver um pouco mais esse particular tema recomendo consultar o livro “Advanced Engineering Electromagnetics”, de C. A. Balanis, editado pela John Wiley & Sons.

Na teoria dos circuitos, define-se guia de onda como o meio de transmissão com um dado comprimento e impedância própria. Podemos entender a impedância como algo que dificulta a progressão das ondas no guia de onda. No caso de ondas de rádio, se um guia de onda alimenta uma corneta, é fundamental que haja casamento de impedâncias do guia de onda para a corneta. Caso contrário, quanto maior for o descasamento de impedâncias maior será a parcela de

energia transmitida que será refletida de volta para a origem. Coisa corriqueira e típica da teoria das linhas de transmissão. A onda que segue para o destino e a parcela refletida para a origem se combinam para gerar ondas estacionárias e a conhecida relação de ondas estacionárias – ROE.



figura 4.207 guia de onda com área da seção transversal variável cortesia Cysne Science Publishing Co
A figura 4.207 mostra um guia de onda que não tem mais seção transversal constante. Observe para ver que há uma certa expansão ao longo do comprimento do dispositivo. Adotar essa forma física ou quaisquer outras que não tenham seção transversal constante pode introduzir certas imprecisões, usualmente de pequena monta. Estas podem ser minimizadas com a adoção de formas muito específicas, que resultam de estudos muito detalhados, de caráter científico, usualmente obtidas mediante ajuda de programas altamente especializados.

Com base nisso começou a se pensar na aplicação de tais guias de onda para guiar ondas sonoras.

Pensando assim e, com base em muita pesquisa, foi possível encontrar a forma física das cornetas que possibilitavam a propagação das ondas sonoras com um mínimo de interferências, reduzindo substancialmente todas e quaisquer refrações indesejáveis, para se chegar com a forma certa na boca da corneta obtendo, ainda, a diretividade desejada. Para tanto, são usadas técnicas FEM (Finite Element Method), BEM (Boundary Element Method) muito avançadas, além de outras.

O resultado é uma qualidade sônica nitidamente superior ao que se pode obter com cornetas convencionais.

Seguindo caminhos diferentes, não relacionados entre si, alguns pesquisadores chegaram a formas físicas muito similares para os guias de onda utilizados em áudio. A mais importante dessas formas físicas provavelmente é a “oblate spheroidal”.



figura 4.208 produtos bem conhecidos no mercado, equipados com os guias de onda OS (Oblate Spheroidal) cortesia respectivos fabricantes A figura 4.208 mostra uma série de guias de onda oblate spheroidal ou muito assemelhados, três dos quais montados em caixas acústicas muito conhecidas no mercado do áudio.

A caixa acústica JBL LSR2300 equipada com oblate spheroidal elíptico em baixo à esquerda, a Genelec 8051A coaxial em baixo ao centro e a monitora de estúdio Neumann KH 120, em baixo à direita.

Fica bem claro então que guias de onda não são propriedade exclusiva das telecomunicações.

Para que não possa mais pairar dúvidas sobre isso termino com um exemplo.

O canal SOFAR, acrônimo para Sound Fixing and Ranging Channel, também conhecido como DSC, para Deep Sound Channel, é uma determinada camada da água do mar, aproximadamente horizontal, cuja profundidade reduz muito a velocidade do som em relação a outras camadas.

A figura 4.209, que é baseada em levantamentos reais, ilustra essa situação.

Entre os motivos que causam a redução da velocidade do som estão a temperatura, a pressão e a salinidade.

Dessa forma, o SOFAR funciona como um autêntico guia de onda para os sons. Com isso, determinadas frequências, usualmente baixas, podem viajar milhares de quilômetros antes de ser dissipadas.

Esse fenômeno foi descoberto em 1940 pelo Dr. Maurice Ewing e pelo Sr. Leonid Brekhovskikh, cada qual trabalhando de forma totalmente independente.

Curioso notar que as baleias usam muito esse guia de onda para se comunicar a distâncias que podem atingir centenas de quilômetros.

Esse é outro exemplo insofismável de guia de onda sonoro.

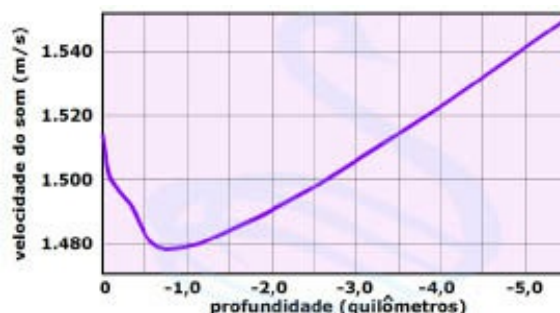




figura 4.210 supertweeter cornetado cortesia Altec Lansing Co Embora os tweeters possam ser construídos com cone de papel, a maioria dos tweeters e supertweeters utilizados nos sistemas profissionais de áudio é de desenho especial. O objetivo último do desenho é conferir a esses transdutores diretividade controlada, e ainda, uma certa capacidade de manipulação de potência, além, naturalmente, de uma resposta de frequência que possa atingir ou ultrapassar os 20 kHz.

Alguns desses transdutores podem ser construídos com pequenas cornetas, próprias para trabalhar com altas frequências.

A figura 4.210 mostra um desses supertweeters.

4.7.4 Caixas Acústicas A operação de um alto-falante de radiação direta funcionando sozinho, livre no espaço, sem a assistência de baffles ou de caixas acústicas, se dá de modo diferente de acordo com as frequências reproduzidas.

Para frequências cujos comprimentos de onda são iguais ou superiores a cerca de quatro vezes o diâmetro físico do falante, ocorre um fenômeno interessante.

Ao se movimentar, o cone provoca o deslocamento simultâneo das massas de ar que estão diante e atrás de si. Por exemplo, quando se move para a frente, a camada de ar frontal é comprimida, e a traseira é rarefeita. Do que resulta um defasamento de 180° .

Para as frequências cujos comprimentos de onda são pequenos comparados ao tamanho do falante, as radiações frontais e traseiras acabam sendo fisicamente isoladas pelo próprio transdutor. De sorte que o defasamento não traz quaisquer consequências.

Como vemos, esse efeito de cancelamento depende apenas do tamanho físico do falante e dos comprimentos de onda das frequências reproduzidas.

A figura 4.211 ilustra o cancelamento que ocorre nas baixas frequências.

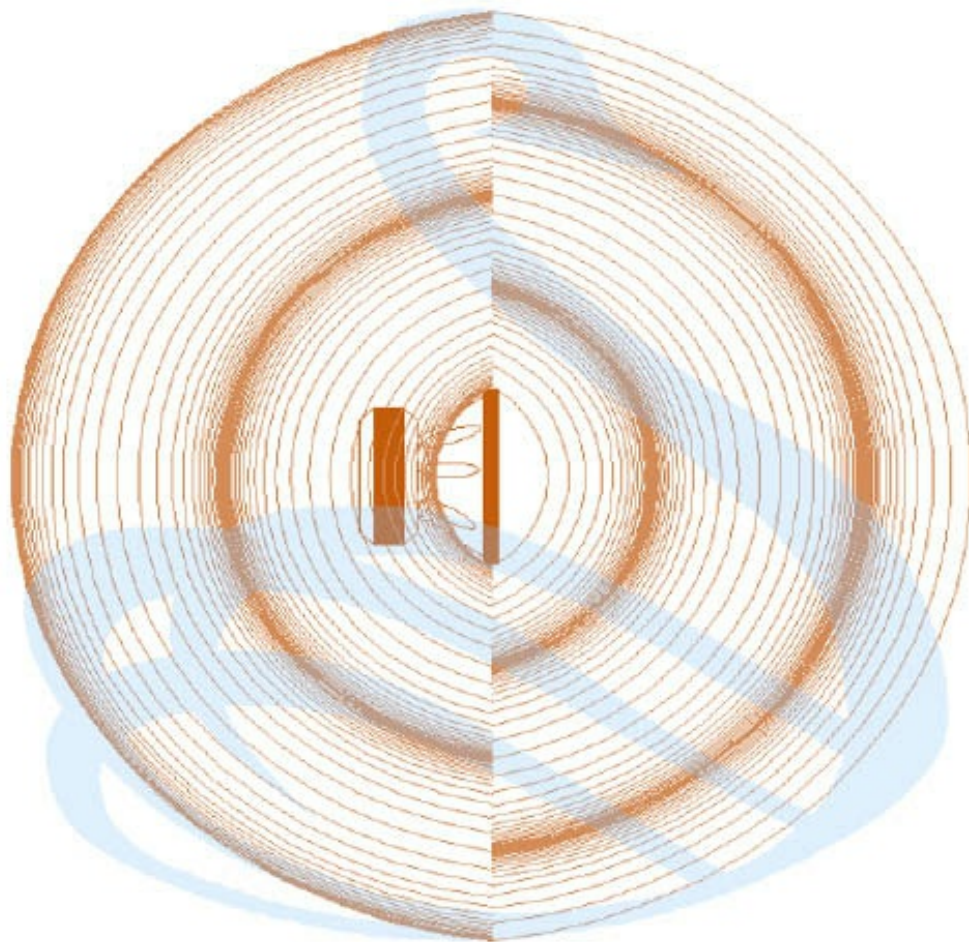


figura 4.211 ilustração de cancelamento resultante de um woofer funcionando ao ar livre acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O cancelamento das baixas frequências que resulta da operação isolada dos falantes impõe uma séria limitação, que deve ser neutralizada.

A forma de promover essa neutralização é separar as partes frontal e traseira do falante.

E só assim é possível evitar que os tons mais baixos deixem de ser reproduzidos por cada falante, e ainda, de eliminar o desperdício de potência que resultaria.

Se considerarmos que os comprimentos de onda das frequências 100 Hz, 1.000 Hz e 10.000 Hz são 3,4 metros, 0,34 metros e 0,034 metros, respectivamente, podemos concluir que o problema do cancelamento se faz sentir de forma mais notável nos woofers e subwoofers. Essa é a razão pela qual você só encontra caixas acústicas dimensionadas para esses mesmos falantes.

A separação das partes frontal e traseira dos falantes é a principal razão de ser das caixas acústicas.

Por outro lado, a resistência que o ar oferece para os cones dos falantes que trabalham sozinhos é praticamente desprezível. O que prejudica seu trabalho em diversos aspectos.

Portanto, qualquer falante de radiação direta, pequeno ou grande, funciona melhor dentro de uma caixa acústica. Apenas porque o ar enclausurado na caixa oferece maior resistência para os movimentos dos cones.

Além disso, quando os falantes operam sozinhos, por ação da inércia os movimentos de seus cones tendem a ser um tanto ou quanto exagerados, chegando frequentemente a excursões descontroladas.

O fenômeno é chamado hangover. Ele prejudica consideravelmente a definição das passagens musicais de diversas naturezas, razão pela qual é preciso controlar o falante.

Ou para usar a terminologia técnica. Amortecê-lo. E isso é possível com um bom projeto de caixa acústica.

Entretanto, uma caixa acústica mal projetada pode agravar o hangover, e produzir resultados sônicos insuportáveis.

Podemos resumir as funções das caixas acústicas como segue:

- prevenir o cancelamento das frequências irradiadas pelas partes frontal e traseira dos falantes
- oferecer resistência acústica para os cones
- prevenir o hangover

Sem dúvida este não é o fórum para entrarmos nos detalhes de projeto ou aspectos construtivos das caixas acústicas. Mas penso que devemos ter uma ideia geral do que são os vários tipos de caixas utilizadas nos sistemas profissionais de áudio. E proponho que discutamos superficialmente cada um desses tipos.

4.7.4.1 Baffles Infinitos e Finitos A primeira tentativa de obter a separação das partes frontal e traseira dos falantes foi feita com um simples painel. Inicialmente muito grande para que pudesse simular o comportamento de um painel com dimensões infinitas. Entretanto, como esses painéis de fato não eram realmente infinitos, foram logo batizados de baffles finitos.

Dadas as enormes dimensões dos baffles finitos, e de modo que se pudesse utilizar a ideia na prática, se pensou em instalar os falantes em grandes caixas acústicas fechadas, de sorte que elas pudessem fazer as vezes dos baffles infinitos. O que deu origem ao nome.

Nos grandes volumes internos dos baffles infinitos ficavam enclausuradas grandes massas de ar. Que por isso mesmo ofereciam pouca ação pneumática (alta compliância) para os falantes. Isto não chegava a ser propriamente um problema, de vez que praticamente todos os falantes então construídos tinham suspensões muito duras (compliâncias reduzidas).

De modo que as coisas já se combinavam naturalmente.

Para que os baffles infinitos possam ter eficiência razoável, devem ser construídos muito grandes.

4.7.4.2 Suspensão Acústica Com o passar das décadas, os enormes tamanhos das caixas infinitas foram se tornando cada vez mais inconvenientes e menos aceitos pelo mercado.

E o trabalho de desenvolvimento do baffle infinito desembocou na caixa suspensão acústica. Também chamada de suspensão a ar, caixa fechada, e caixa selada, porque, como o baffle infinito, também é hermética.

As primeiras tentativas feitas para reduzir os tamanhos dos baffles infinitos logo mostraram

que, para trabalhar em espaços menores, os falantes tinham que sofrer algumas modificações básicas indispensáveis.

Era preciso que suas suspensões fossem bem mais compliantes do que até então. E desse modo, combinariam bem com as baixas compliâncias dos gabinetes de tamanho reduzido.

Notem, o que se fazia era trocar um gabinete de alta compliância por um de baixa compliância, e ao mesmo tempo, trocar um falante de baixa compliância por outro de alta. Invertendo-se as compliâncias.

Também se verificou que, para bons resultados, era imperativo reduzir as frequências de ressonância dos cones dos falantes. E o caminho mais curto para isso era aumentar as massas dinâmicas, especialmente as massas dos cones.

Os cones dos falantes de alta compliância, trabalhando em caixas fechadas, exibiam excursões consideravelmente maiores.

Razão pela qual também era preciso que as bobinas fossem mais longas, de modo que as grandes excursões não as levassem para fora do entreferro, ou para locais onde o comportamento eletromagnético deixa de ser linear.

Construir falantes com suspensões que os tornassem mais compliantes, com cones mais pesados, e com bobinas mais longas não trouxe quaisquer dificuldades consideráveis. E com os novos falantes a ideia das caixas suspensão acústica tornou-se uma realidade. Facilmente aceita pelo mercado, já que agora era possível associar grande economia de espaço com a manutenção aproximada da qualidade.

Mas também haviam desvantagens. A perda da eficiência seria a mais evidente delas. O que resultava diretamente dos cones bem mais pesados do que antes.

Outra desvantagem é que a combinação de maiores pesos dos cones com bobinas mais longas definitivamente impunha um limite superior de frequência, além do qual o desempenho dos woofers caía vertiginosamente. O que praticamente obrigava a usar caixas acústicas de três ou mais vias.

O termo suspensão acústica aplica-se porque o ar enclausurado nessas pequenas caixas oferece mais resistência e mais força restauradora para os falantes compliantes do que suas próprias suspensões. E esse era um dos motes utilizados. Que a força restauradora proveniente do ar enclausurado era bem mais linear do que o obtido com a suspensão do falante nas caixas baffle infinito.

Atualmente, esse tipo de caixa, geralmente pequeno, já é capaz de apresentar maior eficiência do que na época de sua concepção, combinada com excelentes respostas de frequência.



figura 4.212 caixa tipo suspensão acústica Phase Technology modelo PC60 CA cortesia Phase Technology A figura 4.212 ilustra uma dessas caixas. Atualmente elas são capazes de trabalhar com elevados níveis de programa, e produzir níveis excepcionalmente elevados de pressão sonora a um metro de seus eixos principais.

4.7.4.3 Refletor de Graves

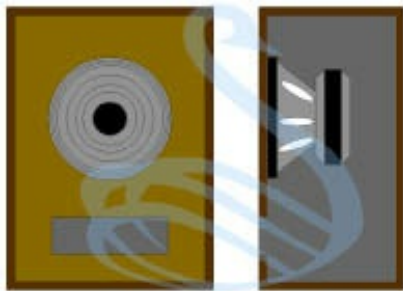


figura 4.213 caixa acústica sistema refletor de graves acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como ilustra o croqui da figura 4.213, o refletor de graves é uma caixa acústica que contém o falante, e uma abertura que estabelece a comunicação entre o interior e o exterior do gabinete. Esta abertura é denominada pórtico.

O comportamento do refletor de graves é bem mais complexo do que os das caixas baffle infinito e suspensão acústica.

Agora estamos falando de um autêntico ressonador de Helmholtz.

O que significa que o ar no interior da caixa ainda conserva suas propriedades compliantas. E ao mesmo tempo, o ar no pórtico comporta-se como um segundo radiador. Que para determinadas frequências está em fase com o que é reproduzido pelo cone do falante, e para outras não.

Vimos no capítulo anterior que a frequência de ressonância dos ressonadores de Helmholtz depende do volume do recipiente e do volume do “gargalo”.

Transportando estes termos para o jargão das caixas acústicas, podemos dizer que a frequência de ressonância de um refletor de graves depende da compliância do ar no interior

da caixa e da massa de ar no p3rtico.

Portanto, assim como o pr3prio falante, o refletor de graves, ele pr3prio, tamb3m 3 um dispositivo sintonizado.

Na frequ3ncia de resson3ncia do refletor de graves o ar no p3rtico vibra com facilidade, comprimindo e rarefazendo naturalmente o ar no interior da caixa.

Quando as frequ3ncias de resson3ncia do falante e do ressonador est3o pr3ximas, o sistema passa a apresentar duas frequ3ncias de resson3ncia. Uma superior e outra inferior. Denominadas f_H e f_L respectivamente.

Como mostra a figura 4.214. O exagero 3 proposital para facilitar o entendimento.

Em f_H o ar no p3rtico e o falante se movimentam em fase. Entretanto, como essa frequ3ncia est3 algo acima da frequ3ncia do ressonador, a a33o de amortecimento 3 reduzida.

Quando o projeto 3 bem feito, as fases entre p3rtico e falante s3o mantidos n3o s3 para a resson3ncia superior, mas para uma banda de frequ3ncias relativamente ampla. Para a qual a resposta em baixas frequ3ncias 3 refor3ada.

Na frequ3ncia de resson3ncia do ressonador, a a33o de amortecimento 3 elevada, e o movimento do cone do falante 3 m3nimo. Em contrapartida, o movimento do ar no p3rtico atinge sua m3xima velocidade.



figura 4.214 o comportamento do refletor de graves em baixas frequ3ncias acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No refletor de graves cl3ssico, a sintonia do ressonador coincide com a frequ3ncia de resson3ncia do cone do falante ao ar livre.

Abaixo da frequ3ncia de resson3ncia do ressonador h3 uma r3pida mudan3a de fase no p3rtico, tal que em f_L o p3rtico e o falante est3o com diferen3a de fase de 180°. Essa condi33o determina uma queda r3pida da resposta de frequ3ncia, que em geral 3 bem mais pronunciada do que na caixa suspens3o ac3stica. De fato, enquanto nesta a queda 3 da ordem de 12,0 dB/oitava, no refletor de graves a taxa 3 de algo pr3ximo a 24,0 dB/oitava.

Para um dado volume da caixa, a sintonia pode ser feita variando-se a 3rea do p3rtico, ou sua profundidade, ou ambos.

Se analisarmos a express3o que determina a frequ3ncia de resson3ncia dos ressonadores de Helmholtz, veremos que a frequ3ncia de sintonia da caixa diminui com a redu33o da 3rea do p3rtico e com o aumento dos volumes da pr3pria caixa e do p3rtico.

Assim, em refletores de graves de tamanho grande 3 poss3vel obter baixas frequ3ncias de

ressonância mesmo com pórticos de pequenos volumes. Determinados apenas pela área da abertura e espessura da parede na qual o pórtico é aberto. Entretanto, isso torna-se um pouco mais complicado para caixas menores, o que nos leva ao próximo título.

4.7.4.4 Caixas Com Dutos



figura 4.215 caixa com duto, Tannoy, referência de estúdio cortesia Tannoy

Ainda continuamos falando de ressonadores de Helmholtz. Isso posto, podemos dizer que as caixas com dutos são apenas refletores de graves dimensionados para que possam resultar compactos.

Para reduzir a frequência de sintonia de uma caixa que tem pórtico, mas não duto, precisamos aumentar a massa de ar que fica sujeita às vibrações no pórtico. O que, como já vimos, é obtido com a redução da área do pórtico.

Mas penso que cabe uma explicação melhor disso.

Quanto menor é área da abertura, maior é a velocidade da massa de ar que passa por ela, de modo que há maior quantidade de ar por unidade de área transitando pelo pórtico.

Outra maneira de se conseguir o mesmo resultado é usando um duto atrás do pórtico. O que também aumenta a velocidade da massa de ar sujeita às vibrações.

Todas essas conclusões podem ser deduzidas da expressão 3.14.

Quando lançada, a ideia de obter baixas frequências de sintonia em caixas compactas causou tal rebuliço no mercado, que muitos se esqueceram que era preciso preservar a relação entre as compliâncias do falante e da caixa.

Condição indispensável para que o projeto resulte coerente.

Por outro lado, logo se compreendeu que num sistema refletor de graves, com ou sem duto, a radiação via pórtilco não se altera com o tamanho da área deste.

Como pode ser isso?

É que a velocidade do ar no pórtilco é tão maior quanto menor é a área. E isto impõe um outro limite para a área do pórtilco, abaixo do qual a velocidade é tão elevada que o resultado sônico fica comprometido.

Nos sistemas refletores de graves a eficiência não é necessariamente prejudicada já que é possível utilizar falantes eficientes.

E com cones mais leves, os falantes também podem trabalhar com frequências mais elevadas do que as caixas suspensão acústica.

Uma outra nítida vantagem.

Atualmente, os projetos das caixas com dutos são de fácil realização, graças a vários pesquisadores que para isso contribuíram, entre os quais Thuras, Beranek, Novak e principalmente A. N. Thiële e Richard Small, de onde vem o conhecido termo Thiële-Small.

Você escolhe o alinhamento desejado, que nada é mais é do que uma forma de prever quais serão os predicados da caixa. E passa a trabalhar com os chamados parâmetros Thiële-Small, ou apenas parâmetros T-S do falante, para combinar um dado volume com uma determinada frequência de sintonia.

Há várias tabelas que são intuitivas, e que nos permitem escolher de antemão um falante para um determinado resultado imaginado, ou por outra, saber aproximadamente o que poderemos a partir de um falante disponível.

Como regra geral, os falantes para quaisquer tipos de refletores de graves são como os utilizados nas caixas baffle infinito.

Ou seja, possuem cones leves, suspensões pouco compliantes e bobinas mais curtas. Em resumo, são falantes com baixos fatores de qualidade total (Q_{ts}). Geralmente entre 0,2 e 0,45.

4.7.4.5 Radiadores Passivos A figura 4.216 ilustra as caixas com radiadores passivos, que também são caixas do gênero refletor de graves.

O termo radiador passivo descreve um falante com cone e suspensão, mas sem motor. Portanto, ele não é um transdutor eletroacústico, e apenas pode reagir passivamente.

Essas caixas usam o falante convencional, e o falante com radiador passivo, que faz as

vezes do p3rtico. Mas dessa maneira, s3o eliminados os problemas de alta velocidade de ar circulando pelo p3rtico.

E tamb3m, os problemas de resson3ncia nos dutos, o que acontece em alguns casos.

Os projetos das caixas radiadores passivos seguem passos semelhantes aos das caixas com dutos.

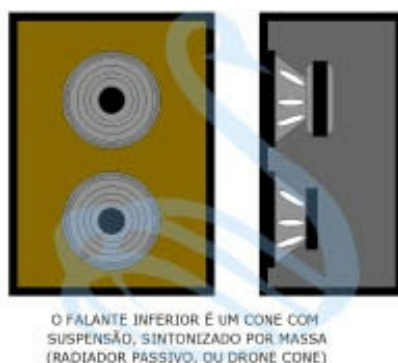


figura 4.216 caixa radiador passivo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 4.7.4.6 Caixas Cornetadas
A figura 4.217 ilustra as caixas ac3sticas cornetadas, ou caixas de carregamento cornetado.

Na foto cada uma das caixas est3 devidamente equipada com sua corneta/driver para reprodu33o das m3dias e altas frequ3ncias. Mas note que os woofers, instalados aos pares, s3o assistidos por grandes cornetas desenhadas para projetar o som na dire33o frontal.

Em poucas palavras, pode-se dizer que a expans3o das baixas frequ3ncias 3 sempre projetada de acordo com os mesmos princ3pios que regem o dimensionamento dos conjuntos drivers-cornetas.



figura 4.217 caixa ac3stica cornetada modelo 815
cortesia Altec Lansing Co.

Assim, essas caixas usam falantes convencionais de cone, geralmente de 12 ou mais polegadas - mas que tamb3m podem ser de quaisquer outros tamanhos - montados em caixas suspens3o ac3stica, geralmente de tamanho muito reduzido. Sobre a parte externa do cone do falante 3 montada uma corneta, de sorte que sua garganta seja sempre menor do que a 3rea de pistonagem do falante.

No caso espec3fico das 815, os falantes s3o de 15 polegadas.

Como a caixa suspensão acústica faz as vezes de uma verdadeira câmara de compressão, e a garganta da corneta é menor do que a área de radiação do falante, ela trabalha mais ou menos comprimida, de modo semelhante a um driver de compressão.

O grau de compressão depende bastante da compliância da caixa suspensão acústica, e do percentual da área de radiação do falante que acaba vedada pela corneta frontal.

Nos bons projetos de caixas cornetadas a sensibilidade do conjunto é muito superior ao que se pode obter com o mesmo alto-falante empregado em caixas acústicas de quaisquer outros tipos.

Além disso, as caixas cornetadas também oferecem um certo controle de diretividade.

Como vimos, uma das funções de qualquer caixa acústica é o controlar o hangover. O que, no caso das caixas cornetas é uma consequência natural da utilização da caixa suspensão acústica atrás do falante.

Por suas características, essas caixas se tornaram muito populares na época em que os amplificadores de potência eram caros e suas potências muito limitadas.

Infelizmente, para que um sistema desses possa trabalhar bem em baixas frequências, seu tamanho final é necessariamente muito grande.

Por essa razão, muitos projetistas passaram a dar preferência aos sistemas refletores de graves.

Entretanto, o uso das caixas cornetadas em cinemas e teatros é uma praxe. E Elas também encontram aplicações em casos de sonorização de áreas externas, nas quais os grandes tamanhos não constituem problemas.

E novamente, caminhando por uma estrada paralela à das cornetas, há projetos de caixas acústicas cornetadas de baixas frequências, nos quais os tamanhos são reduzidos por utilização de formas dobradas.

Como ilustra a figura 4.218.



figura 4.218 caixa acústica cornetada de desenho dobrado, com cornetas e tweeter cortesia Klipsch & Associates, Inc.

4.7.4.7 Subwoofers e Sistemas Bandpass Vimos que subwoofers não são apenas falantes projetados para reproduzir as frequências de áudio muito baixas, mas são também caixas

acústicas desenhadas para trabalhar apenas na parte inferior do espectro de áudio.

Para áudio profissional, a faixa de trabalho dessas caixas dificilmente ultrapassa os 100 Hz.

Os projetos das caixas acústicas subwoofers podem seguir quaisquer dos tipos de caixas discutidos até aqui, e também, desenhos de configurações híbridas, discutidas a seguir.

Há casos de woofers que trabalham com cones empurrados por motores, cujos movimentos são modulados pelos sinais de áudio. Nessas circunstâncias, a faixa de trabalho é realmente muito limitada. Mas vez por outra a moda também se insinua pelo áudio. E uma das formas de caixas que vem ganhando terreno é a chamada bandpass.

A conceituação científica principal desse tipo de caixa passa pela revisão matemática de como definir as frequências de ressonância do conjunto, visando trabalhar apenas com uma banda passante de frequências. A ideia por trás disso é maximizar a saída acústica dos falantes.

Um dos predicados indispensáveis para que as caixas bandpass sejam bem sucedidas é que os falantes sejam específicos para elas. Seus parâmetros pouco se parecem com os dos falantes de quaisquer outras formas de caixas. De fato, a massa móvel de um falante para uma caixa bandpass é invariavelmente muito elevada, e seu motor extremamente poderoso. A eficiência do motor do falante pode ser medida pelo fator **Bl**, assunto discutido no capítulo 7.

Recentes avanços tecnológicos permitem que possamos construir hoje falantes com tais propriedades. E apenas porque isso não era possível há relativamente pouco tempo atrás é que as caixas bandpass não foram construídas antes. Com efeito, toda a conceituação que hoje embasa as caixas bandpass já estava disponível há mais de 5 décadas.

Há algumas variedades de caixas bandpass. Provavelmente, a mais comum delas seja a bandpass de 4ª ordem, ilustrada na parte esquerda da figura 4.219. Em essência, essa é uma caixa acústica constituída de duas câmaras.

A primeira, selada, na qual encontra-se o falante. A ela é adicionada uma caixa dutada, que funciona como um filtro acústico.

A segunda variedade mais comum de caixa bandpass é a de 6ª ordem, ilustrada na parte central da figura 4.219.

Ela é semelhante à anterior, com a exceção de que, agora, as duas câmaras são dutadas. O nome bandpass tem origem na resposta da caixa, que é tipicamente o que nos mostra a figura 4.220.

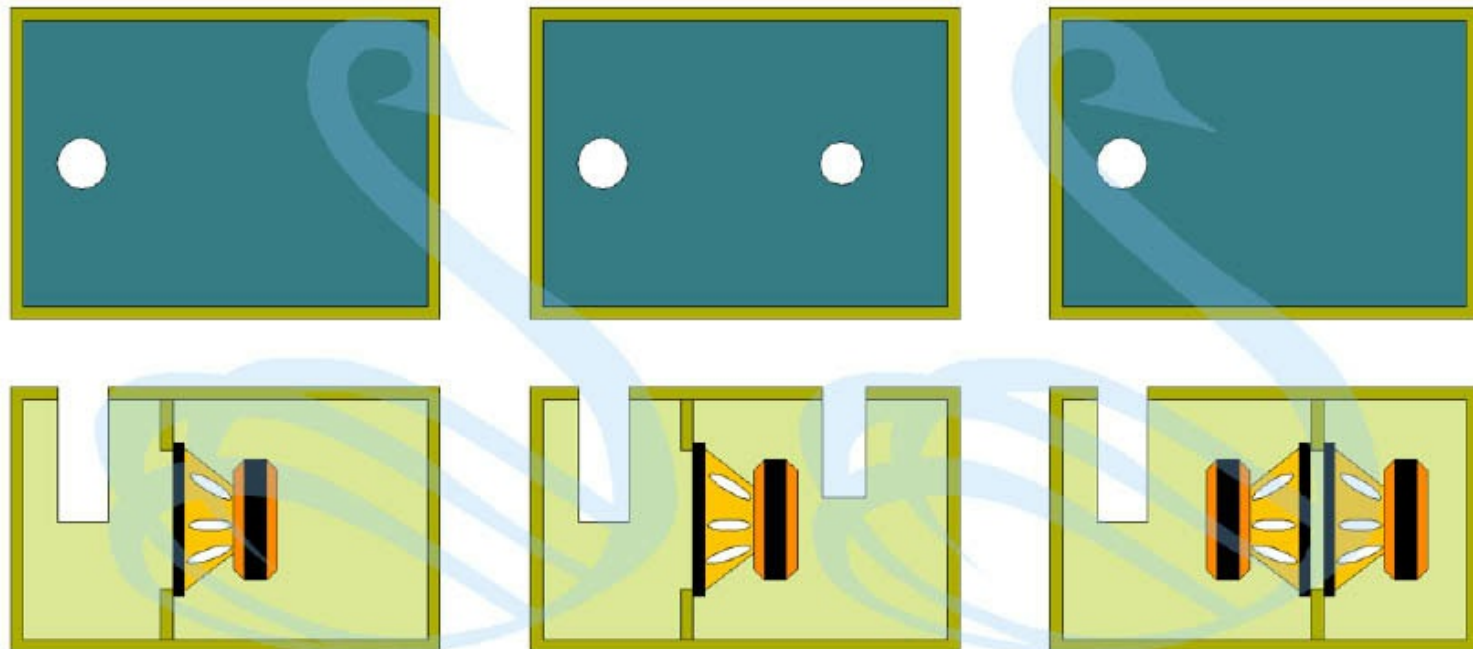


figura 4.219 da esquerda para a direita, esquema de subwoofer tipo bandpass de 4ª ordem, esquema de 6ª ordem e topologia Isobárica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

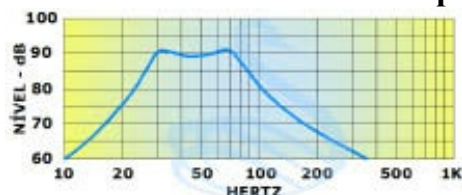


figura 4.220 resposta típica de uma caixa bandpass acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma vez que a saída das caixas bandpass é feita unicamente através dos pórticos, a radiação direta dos falantes é virtualmente eliminada. Dessa forma não há cancelamentos entre pórtico e falante. Graças a isso é possível sintonizar um falante com as características descritas para que haja reprodução de frequências muito baixas, e ainda, com grande eficiência.

A propósito, uma das grandes vantagens das caixas bandpass é a possibilidade do projetista ter a faculdade de poder estabelecer, a seu exclusivo critério, um compromisso claro entre a eficiência do sistema e sua banda passante. Teoricamente, quanto maior é a eficiência do sistema menor é sua banda passante.

Além disso, ao contrário dos cones dos falantes, o movimento do ar no pórtico não está sujeito a tantas limitações mecânicas. Em virtude disso, as frequências muito baixas podem ser reproduzidas com saídas acústicas bem mais elevadas do que quaisquer outros tipos de caixas, para o mesmo tamanho de falante.

Também há uma forma de reduzir o tamanho físico das caixas bandpass. É usando a topologia isobárica, ilustrada na parte direita da figura 4.219. A topologia isobárica é uma caixa bandpass de 4ª ordem equipada com dois alto-falantes. Como mostra a figura, eles são instalados de frente um para o outro. Se ambos fossem energizados em fase, haveria um enorme cancelamento das baixas frequências, que seriam produzidas em antifase. Como não isso o que se quer, os falantes são energizados em contrafase. Esse artifício faz com que quando o cone de um se mova para a frente o do outro se mova para trás. E então o trabalho de ambos é somado. E é exatamente isso o que se chama de topologia isobárica.

A razão da redução do tamanho físico do gabinete é que, teoricamente, o V_{as} do sistema será exatamente igual à metade do V_{as} de cada falante individualmente considerado.

A sensibilidade do sistema não será alterada.

4.7.4.8 Cornetas Coaxiais Poderíamos deixar de abordar este assunto neste livro, não fosse o fato das cornetas coaxiais terem abandonado o estado letárgico em que se encontravam, aliás durante décadas, para terem definitivamente entrado em moda.

Sua utilização em arenas esportivas, estádios em geral, ginásios, igrejas, e tantos outros locais, se generalizou a tal ponto que fabricantes como a Altec, a Community, a ElectroVoice, a Frazier, a Renkus-Heinz, para falarmos de poucos deles, lançaram no mercado famílias de cornetas coaxiais.

A aplicação das cornetas coaxiais em diversos projetos é um fato hoje. Inclusive no Brasil. Como mostra a figura 4.221.



figura 4.221 cluster central composto de 6 cornetas coaxiais Altec modelo 9264A, dispostas em forma de elipse, instaladas pela Cysne Sound Engineering no Colégio São Gonçalo, Missão Salesiana do Mato Grosso, em Cuiabá acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne a primeira geração

Todos nós conhecemos muito bem os falantes coaxiais. Dos quais há diversas versões e modelos. Logo após a 2ª guerra mundial a RCA lançou no mercado um de seus novos desenvolvimentos. A caixa acústica RCA-1L, que havia sido projetada exclusivamente para monitoração. A própria RCA a chamava de caixa acústica coplanar, coaxialmente congruente.

Este produto, e alguns que vieram logo depois dele, realmente utilizavam falantes coaxiais. Que geralmente eram de duas vias. Entretanto, os centros acústicos das vias não eram os mesmos, nem eram coincidentes suas origens acústicas.

Quando se pergunta a qualquer pessoa o que é um falante coaxial, a resposta óbvia é “dois ou mais falantes que compartilham o mesmo eixo principal”. O que é correto, mas não implica que eles tenham um só centro acústico, nem que a origem acústica seja a mesma.

Para algumas aplicações, a importância desse detalhe é meramente acadêmica. Mas não para o áudio profissional.

Uma das primeiras tentativas feitas no sentido de se montar uma corneta menor, na boca de outra, maior, foi feita por Blattner em 1930. Depois disso, e ao longo das décadas seguintes houveram muitas outras tentativas. Mas exemplos mais recentes podem ser citados, como o da Community em 1972, com sua FRC, abreviatura para Real Coaxial, e o da Frazier, em 1975.

Esses produtos pioneiros de fato usavam falantes coaxiais, mas todos eram portadores dos problemas mencionados. O que permaneceu sem mudanças até que Ed Long e Ron Wickersham desenvolvessem o conceito “Time Alignment“, ou Alinhamento de Tempo.

Se insisto na questão do centro acústico e da origem acústica é porque a falta de sincronismo que decorre da falta de espaço físico no interior da corneta maior, implica numa influência mútua entre as cornetas, que se manifesta na região de transição entre ambas, afetando as duas respostas polares. E sem sincronismo, a ideia não passa, ou melhor, não passava de uma mera possibilidade.

Em 1982 Eugene Patronis desenharia as cornetas coaxiais PA 70 e PA 150, para a série AMC da ElectroVoice. As duas cornetas foram projetadas exclusivamente para a sonorização de teatros. Em seus desenhos, o Dr. Patronis se preocuparia muito com as origens acústicas, com os centros acústicos e com as respostas polares na região da transição.

Para a corneta PA 150, a frequência de transição escolhida foi 750 Hz.

Isto porque o projetista queria utilizar um filtro de primeira ordem (6,0 dB/oitava). A razão dessa escolha era a obtenção da soma mais adequada de amplitudes e fases na frequência de transição.

Claro que o driver de compressão das altas frequências deveria ser robusto o bastante para acompanhar essa modesta taxa de atenuação, sem riscos de excursões exageradas e de elevados níveis de distorção.

Os divisores de frequência seriam comercializados em duas versões. A passiva e a ativa. A versão ativa era um projeto muito cuidadoso e criterioso. Em síntese, um filtro passa altas, capaz de filtrar as frequências entregues ao driver de compressão.

Ao mesmo tempo, esses sinais já filtrados seriam subtraídos do sinal original de entrada para dar origem a resposta de um filtro passa baixas, posteriormente entregue ao falante de baixas frequências.

Dada a extrema competência do Dr. Patronis, as respostas desses filtros eram muito próximas do ideal.

Tanto em termos de amplitude quanto de fase. E para obter resultados semelhantes com o dispositivo passivo, o Dr. Patronis empregou um filtro passa tudo, com atraso de

aproximadamente 250 milissegundos.

Para o Dr. Patronis, os dois falantes deveriam ter aproximadamente as mesmas respostas polares na região de transição.

O que na época não parecia ser tão óbvio para outros.

A partir desses dois projetos estavam definidos os conceitos fundamentais das cornetas coaxiais de alta performance.

a segunda geração

Em 1987 um consultor de áudio muito conhecido solicitou ao Dr. Patronis ajuda para reduzir o tamanho de um cluster de falantes que deveria ser instalado numa igreja. O Dr. Patronis pensou e sugeriu a utilização de cornetas coaxiais. Uma vez aceita a sugestão, o Dr. Patronis ficou encarregado de desenvolver o produto final.

Estudos anteriores, que faziam parte do projeto original do sistema, indicavam o uso das cornetas Community M4.

Uma vez analisadas essas informações, o Dr. Patronis julgou que deveria mesmo usar essas cornetas.

E suas primeiras análises foram orientadas exatamente para investigar as respectivas respostas polares. Mas não sozinhas, ou individualmente.

O Dr. Patronis teve a ideia de montar em seu interior uma corneta ElectroVoice E-V HP 640, equipada com um driver E-V DH1A.

O que formaria um conjunto coaxial.

De acordo com os planos, durante os primeiros testes, a corneta de altas frequências não deveria funcionar.

Ela estaria lá apenas para se comportar como um obstáculo físico dentro da corneta maior.

Os resultados a que chegou o Dr. Patronis são resumidos na figura 4.222.

Uma vez coletados e estudados esses dados, o Dr. Patronis passaria a analisar mais especificamente o comportamento do conjunto na região de transição. E também em como obter o alinhamento de tempo.

Neste caso, a transição escolhida foi 1.250 Hz, com filtro ativo de 4ª ordem, ou 24,0 dB/oitava.

A escolha do Dr. Patronis, tanto em termos de frequência de transição, quanto de taxa de atenuação, foi formulada para que a resposta da corneta de baixas frequências fosse rapidamente eliminada a partir da transição, já que seu comportamento mostrava-se bastante comprometido com o obstáculo representado pela corneta de altas frequências.

O que se devia à interferência física determinada pelo tamanho e localização da corneta menor. Como podemos ver na figura 4.222.

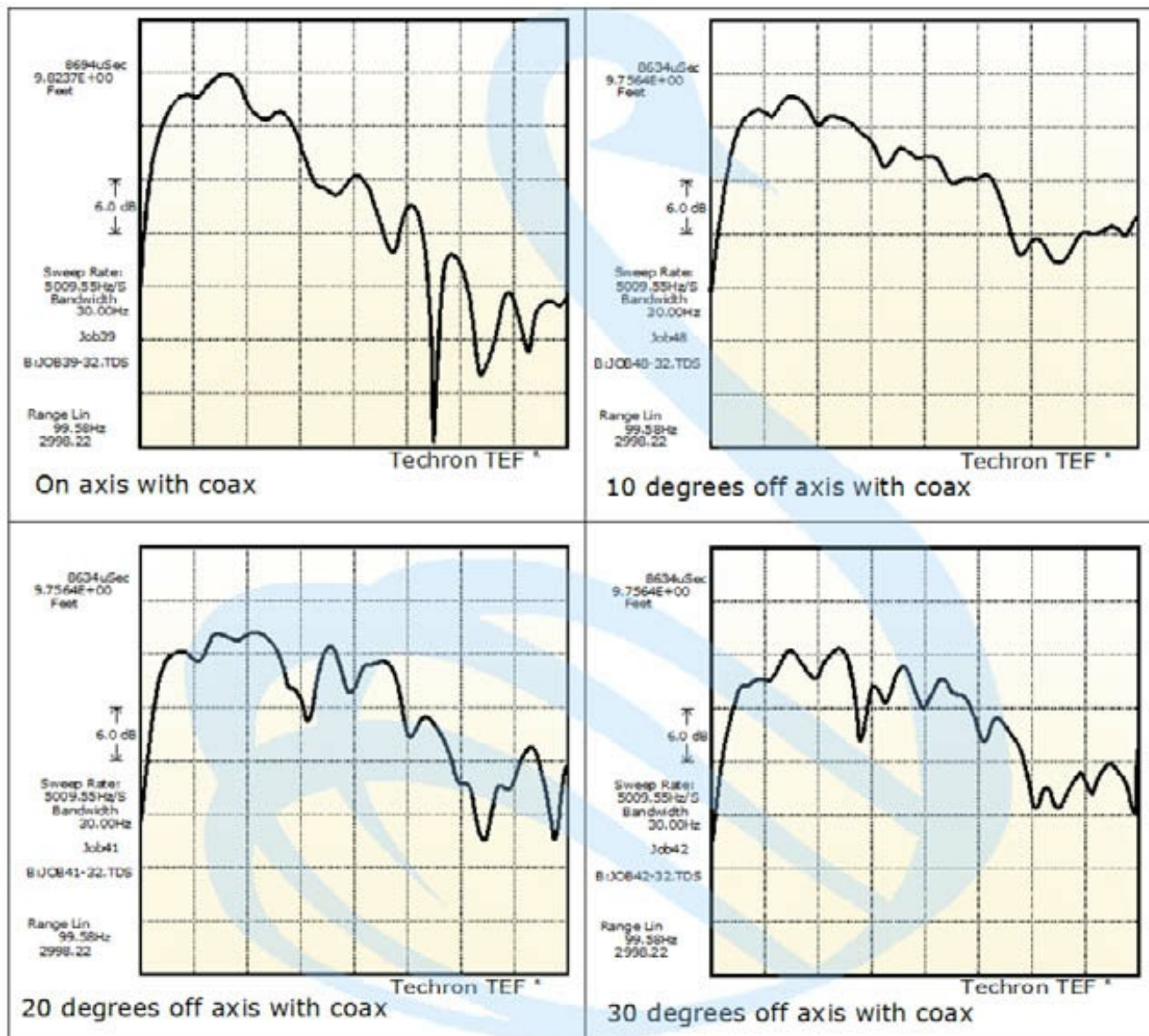


figura 4.222 respostas polares da corneta M4 transformada em coaxial com a montagem interna de uma corneta EV HP 640, não operacional nesta etapa acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O alinhamento de tempo seria obtido com um atraso de 20 microssegundos, imposto aos sinais de altas frequências.

Para tanto, foi utilizado um delayer Klark Teknik. Os resultados finais desses conjuntos coaxiais são os que mostram a figura 4.223.

Compare as curvas e veja o que já era possível fazer naquela época, em que os computadores sequer engatinhavam.

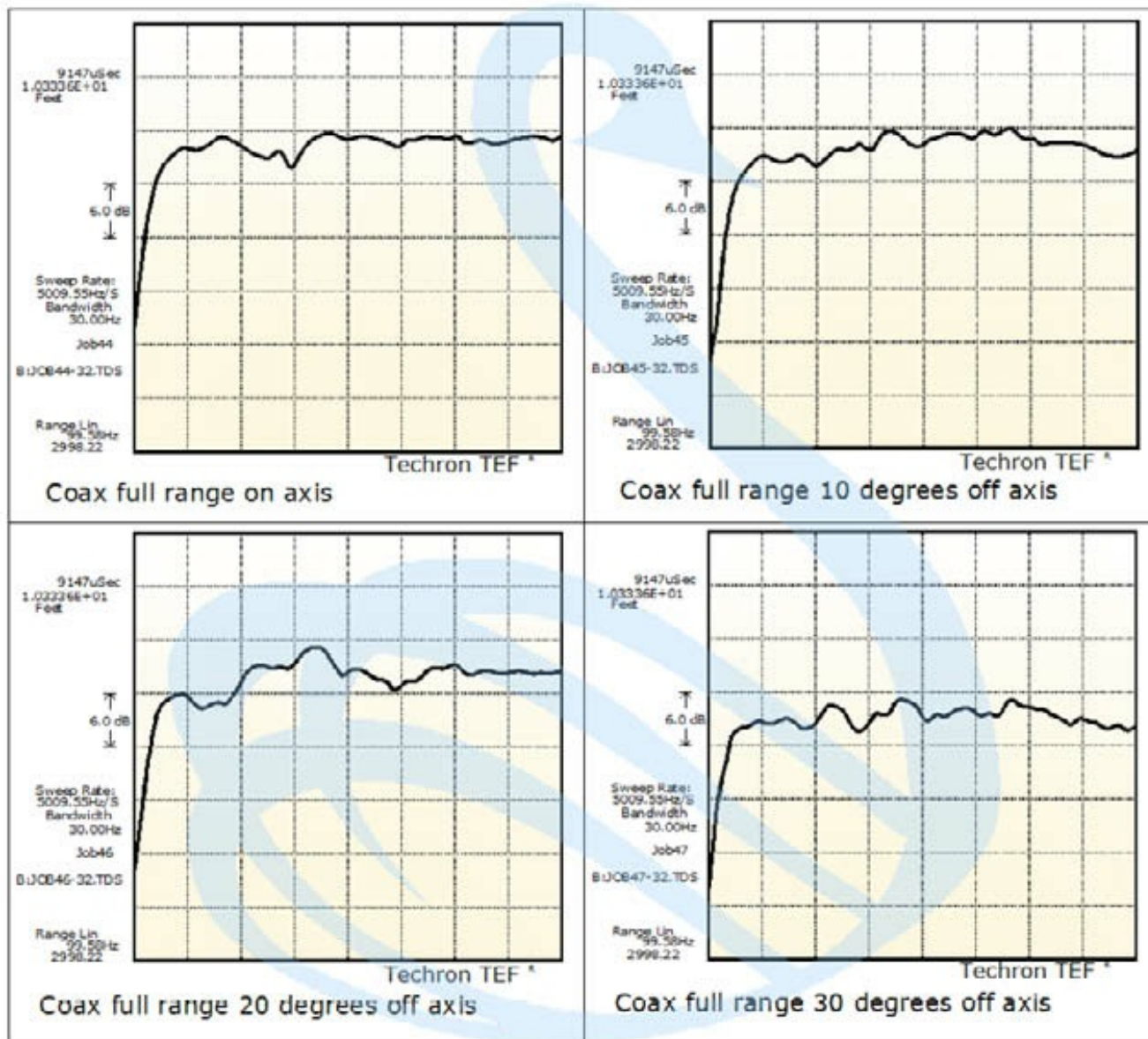


figura 4.223 respostas polares da corneta M4 transformada em coaxial com a montagem interna de uma corneta EV HP 640, agora operacional, ajustada com atraso de 20 microssegundos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne a rápida aceitação do produto pelo mercado Um ano após a publicação do trabalho do Dr. Patronis em 1987, os conceitos ali expostos já eram usados em cornetas coaxiais oficialmente lançadas no mercado, como a M4 CoAx da Community, e a CAT 77 da Frazier. Esta última até levava aqueles conceitos um pouco adiante, pois trabalhava com uma linha de retardo acústico.

Que era obtida com o uso de um tubo ligando o driver de altas frequências a sua respectiva corneta.

Muitos concordam que o ponto de inflexão na qualidade desses produtos só ocorreu quando novas técnicas de medição se tornaram disponíveis. Especialmente os analisadores TEF. Essa mudança de rumo decretou o fim dos anos em que a ideia havia sido como que congelada, permanecendo apenas algo potencialmente interessante.

Atualmente, os projetos das cornetas coaxiais levam em conta:

- a escolha adequada de falantes e drivers/cornetas, com respostas polares e de fase muito semelhantes na região de transição
- redes divisoras de frequência que possibilitam o controle das respostas de fase, de modo que as respostas polares possam ser condicionadas na região de transição
- sincronização dos sinais das duas cornetas, quer por meios passivos, quer pelos ativos

A figura 4.224 mostra um modelo atual de corneta coaxial, cuja tendência é seguida

simultaneamente por muitos fabricantes.



figura 4.224 aspecto de uma corneta coaxial moderna, Altec modelo DTS-645-8AF cortesia Altec Lansing Co.

4.7.4.9 Colunas Line Source A coluna line source ilustrada na figura 4.225 é apenas uma pilha vertical de alto-falantes, geralmente espaçados uns dos outros de forma regular.

Não vamos entrar em mais detalhes sobre as colunas line source, de vez que as pilhas, por constituírem o elemento básico dos clusters, serão discutidos com profundidade no capítulo 7.



figura 4.225 colunas line source com 4 alto-falantes cortesia Philips

Essa forma muito simples de agrupar falantes começou a ser usado no início dos anos 50, com bastante predominância para as igrejas. Essa fórmula se popularizou muito rapidamente. A principal razão desse sucesso estrepitoso é que, como veremos no capítulo 7, essa maneira de associar fisicamente alto-falantes produz um aumento da diretividade vertical, que é aproximadamente proporcional à quantidade de falantes empilhados.

É intuitivo que a melhor cobertura sônica da plateia só é obtida com o uso dessas colunas instaladas a uma certa altura acima do plano de audição das pessoas, com ligeira inclinação para baixo. Como ilustra a figura 4.226.

Muitos arquitetos e arquitetas mostraram uma nítida preferência para que as colunas fossem instaladas verticalmente, bem rentes às paredes. Então surgiram as primeiras técnicas analógicas para redirecionar o eixo principal de cobertura acústica frontal das pilhas, mantendo-as em posição absolutamente vertical.

Para tanto, foram empregadas técnicas de atraso progressivo de sinais, como discutido no item 7.6.7.2 – Cobertura Vertical, tópico atrasos, com ilustração da figura 7.32.



figura 4.226 colunas convencionais instaladas em igreja acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No início dos anos 90 a digitalização do áudio seguia a plenos pulmões. Nessa época a Duram Audio resolveu utilizar as técnicas analógicas de redirecionamento do eixo das pilhas, mas valendo-se de recursos digitais. Em síntese, cada alto-falante era energizado com seu próprio amplificador e cada amplificador era precedido por um DSP capaz de implementar os atrasos e outros parâmetros que, de quebra, podiam ser facilmente modificados em tempo real.

Até que em 1995 a Duram lançou as colunas Octaray e Octavox, ambas sob a égide da marca Axys, da própria Duram. Os dois modelos foram associados à sigla DDC, acrônimo para o Digital Directivity Control. No ano seguinte, 1996, a Duram lança a Intellivox com novos recursos.

Em razão da inusitada eficácia dos produtos da Duram, não só eles se tornaram grande sucesso em toda a Europa e Estados Unidos, como também esse foi o portal de acesso a muitas e muitas famílias de produtos semelhantes, desenvolvidos e lançados no mercado por inúmeros fabricantes de caixas acústicas, e outros, novos, que passaram a produzir e vender apenas esse tipo de coluna com suporte digital.

A Duram sustentava que seus produtos podiam ter os respectivos eixos principais de cobertura acústica frontal variados de forma independente da posição das pilhas. Em outras palavras, as pilhas podiam ser mantidas na vertical e seus eixos de cobertura direcionados à la carte.

Esquecendo que isso já era possível com técnicas analógicas e que muitos engenheiros de áudio a haviam utilizado, entre os quais este autor, que chegou a elaborar dezenas e dezenas de projetos dessa forma, muitos técnicos e profissionais achavam que o corpo técnico da Duram Audio havia perdido completamente o juízo. Como se estivessem subitamente diante de grande magia negra.

Depois da Duram vieram alguns outros fabricantes na mesma toada, a exemplo da Renkus Heinz. Meu amigo Rik Kirby, vice-presidente de vendas e marketing da Renkus logo veio ao Brasil para divulgar a linha Iconyx da empresa. E assim foram vindo muitos e muitos outros.

Essas novas colunas ganharam o apelido de “DSP beam steering”.

A principal vantagem dessas pilhas não é obter o direcionamento do eixo de forma independente da posição da pilha. O que, como disse, pode ser facilmente implementado no

domínio analógico. A real vantagem é atenuar e, em casos especiais, praticamente eliminar os lóbulos verticais e laterais que são formados nas pilhas sem processamento digital.

Os detalhes disso serão discutidos no capítulo 7.

Mas é importante mencionar que as pilhas DSP beam steering se constituem, atualmente, num recurso extraordinário para os projetistas de áudio, principalmente para aplicação em locais onde a acústica tem caráter de reverberação exagerada.

A figura 4.227 mostra um caso clássico de instalação das pilhas DSP beam steering, no caso, as Iconyx da Renkus.



figura 4.227 pilhas DSP beam steering Iconyx, da Renkus Heinz cortesia Renkus Heinz 4.7.4.10
Conjuntos Bessel Os conjuntos Bessel são como mostra a figura 4.228. Também voltaremos a eles adiante, no capítulo 7.

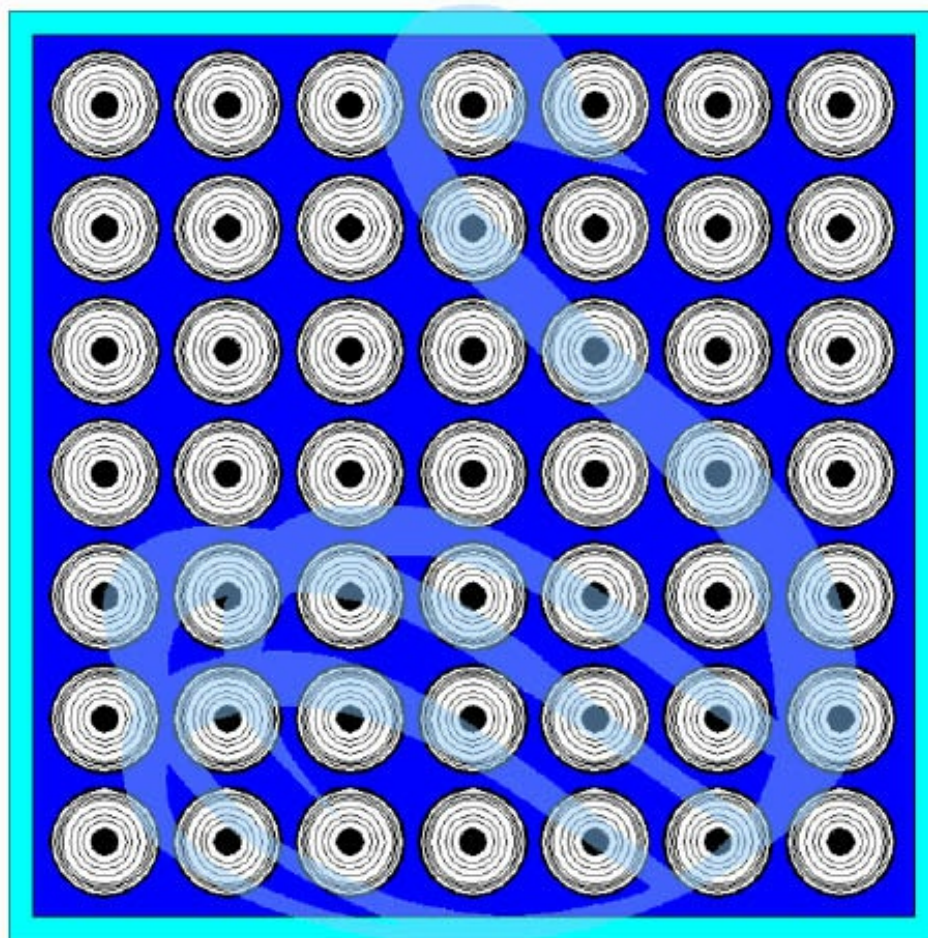


figura 4.228 conjunto Bessel acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 4.7.4.11 Combinações e Outros Tipos de Caixas Acústicas Já há muito foram desenvolvidos inúmeros tipos de caixas acústicas, que correspondem a produtos híbridos, posto que são essencialmente combinações dos tipos fundamentais analisados anteriormente.

As combinações mais comuns de caixas acústicas são o refletor de graves com corneta, ilustrado na figura 4.229, o labirinto acústico, ilustrado na figura 4.230 e a linha de transmissão, como esquematiza a figura 4.231.



figura 4.229 caixa acústica tipo refletor de graves com corneta cortesia Altec Lansing O refletor de graves cornetado dispensa comentários, pois alguns modelos se tornaram internacionalmente populares, inclusive no Brasil, como é o caso da JBL 4060.

O labirinto acústico é um túnel sintonizado, que tem a parte traseira do falante numa extremidade, e um pórtico na outra.

Quando a onda traseira do falante atinge o pórtico, ela se expande para o exterior, provocando uma súbita queda de pressão. Essa queda de pressão se reflete para o falante através do labirinto.

Há uma dada frequência para a qual a extensão do labirinto é igual a $1/4$ de seu comprimento de onda. Nesta frequência, o ar no pórtico atinge sua velocidade mínima, e pressão máxima. Nessas condições, as variações de pressão também são máximas, e a reflexão da rarefação para o falante produz amortecimento máximo.

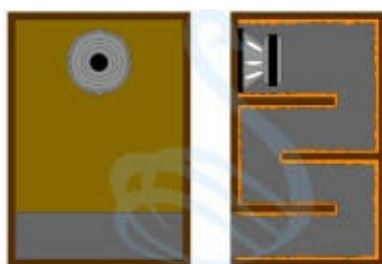


figura 4.230 caixa acústica tipo labirinto acústico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

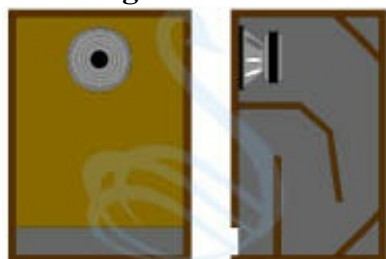


figura 4.231 caixa acústica tipo linha de transmissão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se o labirinto é sintonizado para a frequência de ressonância do falante, então o sistema amortecerá o falante de maneira semelhante a um refletor de graves clássico.

A seção transversal do labirinto acústico é geralmente igual a área de pistonagem do falante. E como essa caixa é capaz de produzir uma série de picos na resposta de frequência,

que correspondem aos harmônicos da frequência de ressonância do túnel, este costuma ser amortecido com materiais acústicos. O que alivia consideravelmente o inconveniente.

Embora parecidas, as caixas dos tipos labirinto acústico e linha de transmissão têm origens diferentes. Esta última se baseia em estudos do Dr. A. R. Bailey, um professor inglês. Ele ponderou que as caixas acústicas do tipo refletor de graves, com suas taxas de atenuação muito rápidas, eram capazes de produzir efeitos deletérios nas respostas de frequência. E sugeriu que se uma linha acústica muito longa fosse colocada na parte traseira de um falante, então as ondas traseiras seriam melhor absorvidas, sem riscos de provocar os efeitos mencionados.

A ideia se materializou na forma de um túnel com seção variável colocado atrás do falante. A área da seção do túnel na extremidade do falante é maior do que na extremidade do pórtilho. O túnel é totalmente amortecido com material acústico, o que, em conjunto com sua geometria, evita bem as ressonâncias. Entretanto, as frequências muito baixas não são absorvidas pelo amortecimento acústico, e acabam reforçando a resposta do próprio falante.

4.7.4.12 Line array

Definitivamente, os sistemas line array entraram em moda. E por muitos e bons motivos. Contudo, só não se tornaram muito populares devido aos preços, ainda relativamente elevados.

Uma vez que só há sentido em falar em sistemas line array quando nos referimos a combinações de certa monta, vamos deixar para discutir esse tópico no capítulo 7 - clusters.

4.7.4.13 Projetos e Construção de Caixas Acústicas

Como disse antes, e tendo em vista nosso objetivo principal neste livro, não vamos entrar nos detalhes de projeto ou de construção de nenhum dos tipos de caixas acústicas antes discutidos.

Contudo, aqueles que quiserem entrar nisso mais a fundo encontrarão literatura adequada, inclusive escrita em português.

4.7.5 Especificações Técnicas

O trabalho desenvolvido pelo engenheiro de áudio depende essencialmente das informações supridas pelos fabricantes. Isto é realmente verdadeiro para os casos de falantes e caixas acústicas. Para tanto, as informações deveriam ser profusas e oferecidas com acuidade. Particularmente as especificações técnicas.

Os fabricantes de falantes e caixas, outra vez com raras exceções, não costumam fornecer todos os dados que deveriam, o que obriga o projetista a levantar por si as especificações omitidas.

4.7.5.1 Impedância Nominal

A primeira regra básica para operar um amplificador de potência corretamente é cuidar para que a impedância nominal de sua carga não seja inferior ao que

recomenda o fabricante do amplificador.

Tenho testemunhado que a não observação dessa regra simples tem se constituído num dos principais motivos de danos causados aos amplificadores e às próprias caixas.

No capítulo 10 discutiremos como combinar falantes e que impedâncias resultam das combinações. Mas tais cálculos só apresentam o grau de acuidade necessário quando as impedâncias nominais dos falantes combinados efetivamente correspondem à realidade.

Alguns fabricantes especificam para seus falantes, ou caixas acústicas, valores nominais de impedância superiores aos números reais. E fazem isso para dar a impressão de que seus produtos são mais eficientes do que na realidade.



figura 4.232 medidor de impedância cortesia Signal Crafters A contrapartida para o usuário é exatamente a de trabalhar com cargas potencialmente destrutivas para os amplificadores, ainda que seus cálculos tenham sido feitos corretamente.

Por essa razão, é sempre recomendável que as curvas de impedância dos falantes e caixas sejam levantadas. Existem instrumentos que fazem a leitura da impedância, como o construído pela Electro Dynamics, apresentado na figura 4.232.

Mas há métodos simples de fazer a leitura indireta, empregando apenas instrumentos convencionais. Um destes é o método corrente constante.

A figura 4.233 mostra o circuito. O resistor de 1.000 ohms transforma o amplificador numa fonte de corrente constante. E a voltagem aplicada sobre o alto-falante sob teste passa a ser diretamente proporcional à sua impedância.

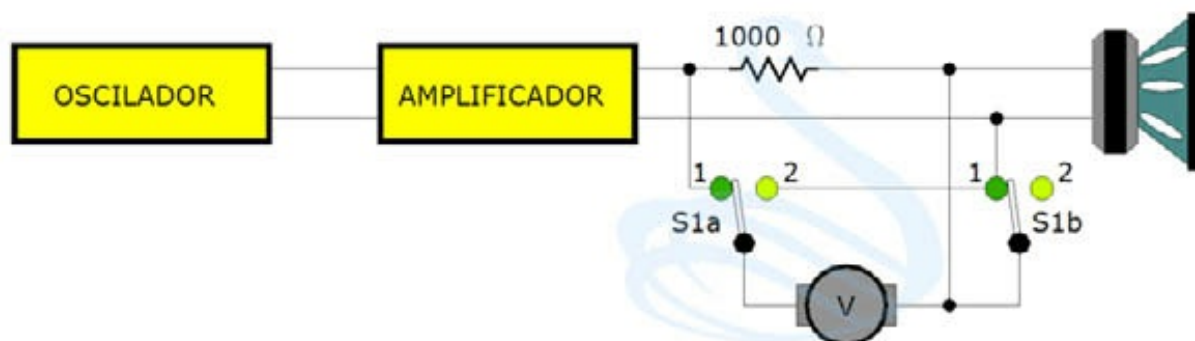


figura 4.233 circuito para medição do módulo da impedância - método da corrente constante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para fazer a medição, escolha uma frequência no gerador, e com a chave S1 na posição 1, que curto-circuita o falante, ajuste o amplificador para que a leitura no

voltímetro seja 10 volts. Mude a chave S1 para a posição 2, leia a voltagem no voltímetro. Este valor multiplicado por 100 é o módulo da impedância do falante para aquela frequência.

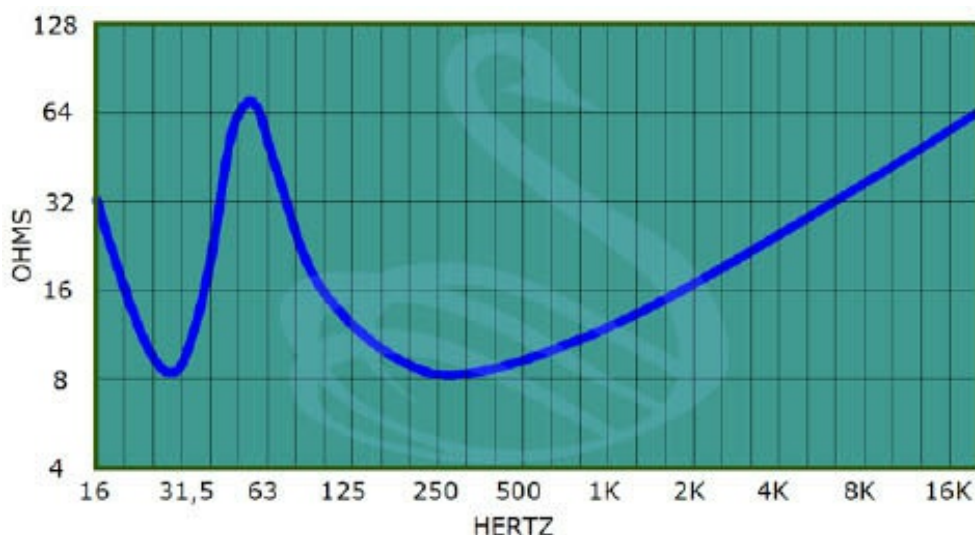


figura 4.234 curva de impedância típica de um alto-falante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Repita esse procedimento para várias frequências do espectro de áudio, anotando sempre os valores de impedância e a que frequências elas correspondem, e será possível construir uma curva como a da figura 4.234.

Estas curvas são levantadas pelos fabricantes, frequentemente substituindo o voltímetro por um plotador gráfico de nível ou por um procedimento no qual é usado um software que levanta a curva em não mais do que 2 segundos de testes.

O valor mais conveniente para ser tomado como sendo a impedância nominal é o mais baixo valor assumido pela curva. No caso da figura 4.234, 8 ohms.

Para aqueles que já dispõem de um microcomputador e estão dispostos a investir em programas capazes de fazer rapidamente essas medições, há várias alternativas. Entre as quais o LEAP, para Loudspeaker Enclosure Analysis Program, da Linear X, o XOPT, desenvolvido por Peter Schuck, o Praxis da Liberty Instruments e tantos outros.

4.7.5.2 Máxima Potência Admissível Esta é uma das especificações geralmente fornecidas pelos fabricantes. Para quem quiser testar os valores especificados, cabe observar que os testes são potencialmente destrutivos para os próprios falantes e caixas acústicas. Vale lembrar que não são aceitáveis valores estabelecidos em watts IHF, de pico, etc., mas tão somente watts contínuos, ou até RMS, ou a figura dBW, sempre estabelecida para tempo suficientemente longo, de modo que a figura medida possa ser considerada representativa das condições de uso em regime bem exigente.

Excesso de potência é o principal inimigo de qualquer alto-falante. Vejamos então como estes são danificados por essa causa.

Há duas formas principais pelas quais os falantes são destruídos.

Inicialmente, o excesso de potência entregue ao falante por período de tempo relativamente longo provoca o que se chama de colapso térmico. Isso acontece por superaquecimento da

bobina móvel, que é parcialmente derretida, eletricamente interrompida ou literalmente queimada. É mais fácil entender isto se lembrarmos que, operando normalmente, a temperatura das bobinas móveis ultrapassa a casa dos 150 graus centígrados.

Na segunda forma, chamada colapso mecânico, a potência excessiva provoca deslocamento tal do cone ou diafragma, que estes se separam da bobina móvel, ou esta de sua forma, ou ainda, há ruptura do sistema de suspensão do falante.

Os diafragmas metálicos dos drivers de compressão e tweeters de alto desempenho ainda estão sujeitos a um colapso mecânico típico, quando submetidos a sobrecarga. Eles se partem em pedaços e param de funcionar.

4.7.5.3 Sensibilidade A sensibilidade de um falante ou caixa acústica é a medida do nível de pressão sonora produzido, quando alimentado por um determinado nível de potência elétrica. A distância entre o ponto de medição e o centro acústico do falante ou caixa deve ser definida, assim como o eixo que contém o ponto de medição.

Quando o eixo é o principal, a sensibilidade é chamada sensibilidade axial. Para qualquer outro eixo, a sensibilidade é denominada relativa.

A distância mais utilizada atualmente é 1,0 metro, mas qualquer outra pode ser especificada. Do mesmo modo, qualquer nível de potência pode ser utilizado, mas o mais comum é 1 watt RMS (0 dBW).

Quaisquer que sejam distância e potência especificados, é fácil converter para quaisquer outras distâncias e/ou potências que se queira.

Quando a medição utiliza a distância de 1 metro e a potência 0 dBW, a especificação é

$$x L_P / 0\text{dBW} / 1\text{metro} \quad (4.24)$$

Centro acústico é o ponto do qual os sons são projetados. É medido pela diferença de tempo entre o momento em que o falante é energizado, e o momento em que o microfone de teste recebe os sinais acústicos.

O centro físico e o centro acústico não são necessariamente coincidentes, e este ainda depende da frequência.

Medições recentes feitas com analisadores TEF mostram claramente as variações do centro acústico em função da frequência.

Desse modo, sempre que faço medições de sensibilidade, dou preferência a distâncias de 5 ou mais metros do falante ou da caixa acústica, de forma que variações eventuais de centro acústico não tenham peso considerável no montante das imperfeições da medição.

Para fazer a medição é preciso um medidor de nível de pressão sonora calibrado, uma

trena, o falante ou caixa acústica, um amplificador, a fonte de som e um voltímetro de áudio. Para obter 0 dBW (1 watt RMS), basta medir 2,0 volts sobre 4 ohms, 2,83 volts sobre 8 ohms, ou 4 volts sobre 16 ohms.

Se você estiver lidando com um falante ou caixa acústica cuja impedância nominal não seja 4, 8 ou 16 Ω , para obter 0 dBW basta calcular a voltagem:

$$V \text{ (volts)} = \sqrt{\text{impedância}(\Omega) \times \text{potência(watts)}} \quad (4.25)$$

Convém mencionar que as medições de sensibilidade devem ser feitas em campo livre (sem reflexões) ou câmara anecóica.

Do contrário, a contribuição acústica do local fechado seria incluída na medição, e a figura levantada seria sempre superior ao real.

4.7.5.4 Ângulos de Cobertura

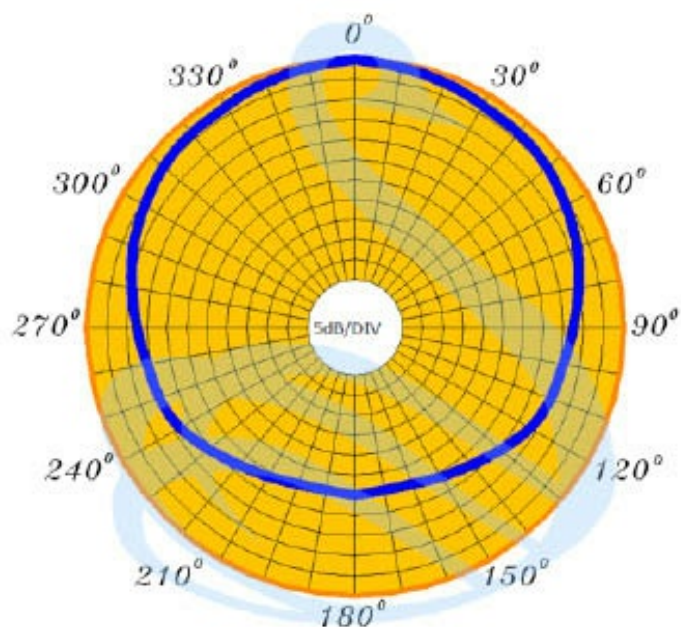


figura 4.235 ângulo de cobertura acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os transdutores não reproduzem níveis iguais de pressão sonora em todas as direções do espaço.

Geralmente o nível mais elevado é exatamente no eixo principal. Essa é uma regra geral mas não um enunciado absoluto. Por vezes o padrão é simétrico em relação a um determinado plano que passa pelo centro acústico do transdutor, e outras vezes prevalece a simetria.

E à medida em que se afasta dele, conservada a distância do centro acústico, o nível de pressão sonora vai diminuindo.

O ângulo de cobertura é aquele que determina um setor de círculo formado pelo centro acústico do projetor de som no vértice central, e pelos pontos laterais onde o nível de pressão sonora cai 6,0 dB.

A figura 4.235 ilustra a ideia.

Os sons agudos são bem direcionais, os médios menos, e os graves poucos direcionais.

É comum vermos curvas como as da figura 4.236 (diagrama polar) para várias frequências

do espectro audível.

Para falantes tipo cone e bobina móvel, a abertura é geralmente cônica, como se fosse o padrão de iluminação projetado por uma lâmpada que ilumina a mesa de snooker.

Como mostra a figura 4.237.

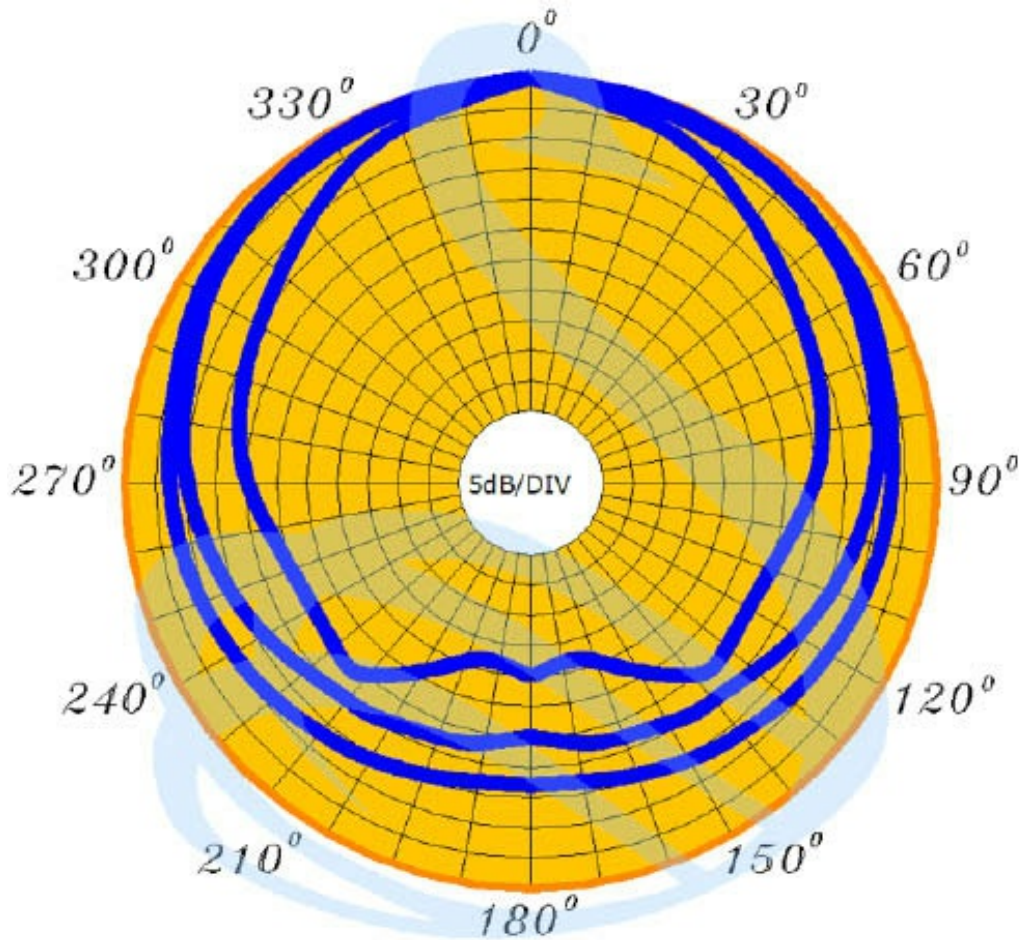


figura 4.236 ilustração do direcionamento crescente com a frequência acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nos demais casos é comum falarmos em ângulo de cobertura horizontal e ângulo de cobertura vertical.

Como será visto posteriormente, o conhecimento preciso desses ângulos é fundamental para o desenvolvimento dos projetos de eletroacústica. Uma vez que nem sempre os dados de cobertura são fornecidos, é preciso saber como obtê-los. Vejamos então como.



figura 4.237 cobertura cônica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O falante ou caixa acústica deve ser instalada horizontalmente em campo livre ou câmara anecóica, de modo que sua estrutura de sustentação cause um mínimo de reflexões. De preferência, nenhuma reflexão.

Alimente-o com 0 dBW.

Usando um medidor de nível de pressão sonora de precisão, calibrado, meça e anote o nível de pressão no eixo principal, aferido a 1 metro ou mais do centro acústico.

Vá movendo o medidor ou o projetor horizontalmente, primeiro para a esquerda e depois para a direita, lendo e anotando os níveis de pressão sonora a cada 5 graus.

Assim será possível traçar o diagrama polar, como nas figuras 4.236 e 4.238 e determinar os pontos onde o nível cai 6,0 dB em relação à medida obtida no eixo principal. Lembro que há muitos softwares que possibilitam fazer isso com elevado grau de automação e pouco esforço.

Você determinou o setor horizontal correspondente ao ângulo de cobertura horizontal.

A mesma coisa deve ser feita no plano vertical para determinar o ângulo de cobertura vertical.

Nos casos de cobertura cônica, os ângulos horizontal e vertical são coincidentes.

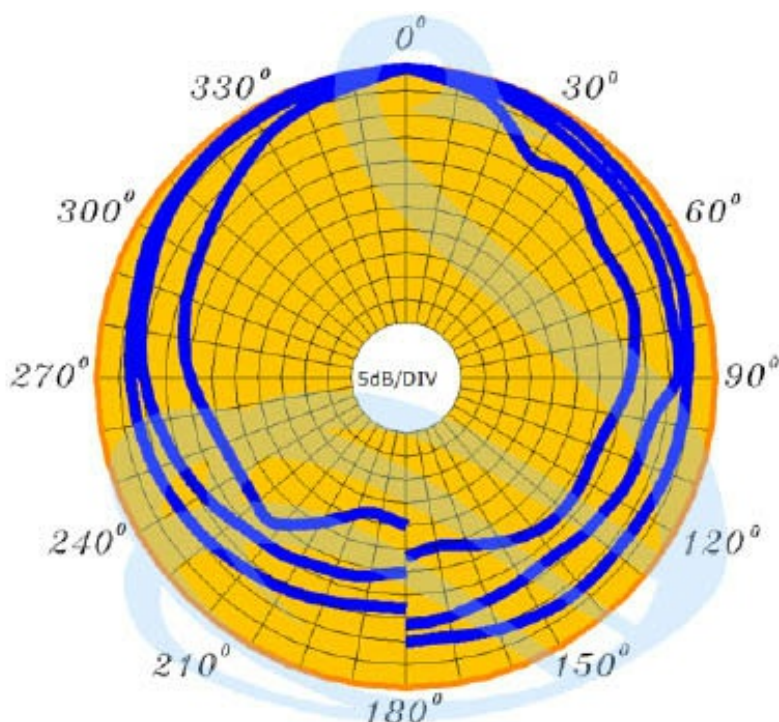


figura 4.238 ângulos de cobertura horizontal e vertical de uma corneta hipotética acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O procedimento deve ser repetido para todas as frequências de interesse.

A figura 4.238 mostra os ângulos de cobertura horizontal e vertical de uma corneta sectoral hipotética, para várias frequências.

Doravante vamos nos referir ao ângulo de cobertura por $\angle C$, e ainda mais especificamente, $\angle CH$ para ângulo de cobertura horizontal e $\angle CV$ para ângulo de cobertura vertical.

4.7.5.5 Relação de Diretividade (Q) Possivelmente este é um dos conceitos mais importantes relacionados com os falantes e caixas acústicas. Ao menos quando se lida com áudio profissional.

A relação de diretividade é a relação entre o nível de pressão sonora elevado ao quadrado, medido a distância e direção determinados do falante ou caixa acústica, e a média elevada ao quadrado dos níveis de pressão sonora medidos a igual distância, mas distribuída em todas as direções, tendo o falante ou caixa acústica como referência.

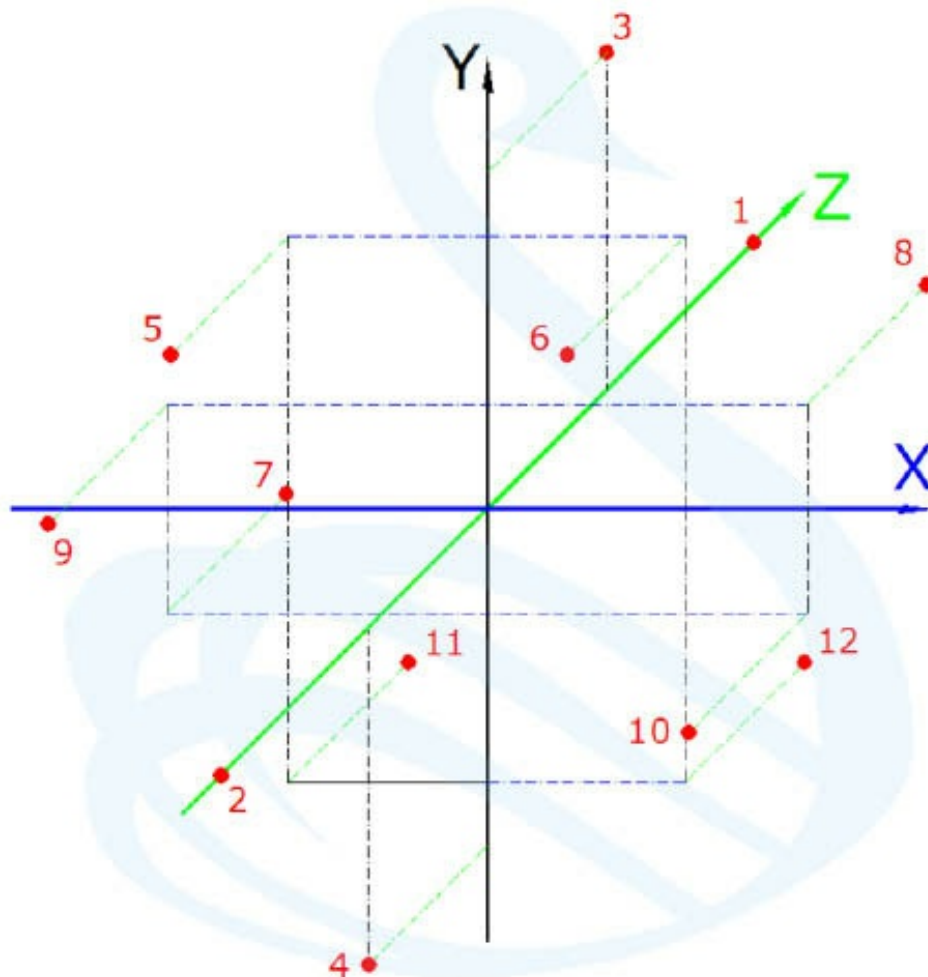


figura 4.239 representação espacial com pontos definidos pelos eixos X, Y e Z
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para fazer as medições, o que muitas vezes é inevitável, por exemplo quando o fabricante não especifica as relações de diretividade de seus produtos, é preciso escolher criteriosamente os pontos de medição, de modo que cada um deles represente uma área de superfície esférica igual ao de todos os demais pontos.

Então, imaginemos que o falante ou caixa acústica fique colocado em campo livre ou câmara anecóica, exatamente no ponto de encontro de 3 eixos perpendiculares entre si, que chamaremos de X, Y e Z.

Agora, esse é nosso universo tridimensional.

Uma das opções seria medir o nível de pressão sonora em 12 pontos, cujas localizações são definidas pelos valores sobre os eixos, numa escala de 0 até 1.

Os primeiros números indicados a seguir, entre parênteses, são sobre o eixo X, os segundos são sobre o eixo Y, e os terceiros sobre o eixo Z.

Portanto, o ponto 0,0,0 é o local que representa o ponto exato do centro acústico do projetor de som. O ponto no cruzamento dos eixos.

Observe com atenção a figura 4.239.

Os 12 pontos de cor vermelha indicados na figura têm as correspondentes coordenadas relacionadas na tabela 4.7:

PONTO	EIXO X	EIXO Y	EIXO Z
1	0	0	+ 1
2	0	0	- 1
3	0	+ 0,8944	+ 0,4472
4	0	- 0,8944	- 0,4472
5	- 0,5257	+ 0,7236	- 0,4472
6	+ 0,5257	+ 0,7236	- 0,4472
7	- 0,8507	- 0,2764	+ 0,4472
8	+ 0,8507	+ 0,2764	+ 0,4472
9	- 0,8507	+ 0,2764	- 0,4472
10	+ 0,8507	- 0,2764	- 0,4472
11	- 0,5257	- 0,7236	+ 0,4472
12	+ 0,5257	- 0,7236	+ 0,4472

tabela 4.7

Estabelecidos esses pontos de medição, aferem-se os níveis de pressão sonora em cada um deles. Isso feito é preciso chegar à média L_p . O que se consegue facilmente mediante uso da expressão:

$$\bar{L}_p = 10 \log \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{p12}}{10}} \right) - 10 \log 12 \quad (4.26)$$

Um dos pontos apresentará nível mais elevado de pressão sonora. Usualmente este é o ponto situado no eixo principal. A expressão para calcular Q é

$$Q = 10^{\left[\frac{L_{i', axial} - \bar{L}_{i'}}{10} \right]} \quad (4.27)$$

Esse é o Q axial. Vamos calcular o Q axial para o caso das seguintes medidas hipotéticas:

PONTO	L_p
1	100,0
2	78,0
3	93,0
4	79,0
5	81,0
6	81,0
7	92,0
8	92,0
9	83,0
10	83,0
11	91,0
12	91,0

$$\bar{L}_p = 10 \log(10^{10} + 10^{7.8} + 10^{9.3} + 10^{7.9} + 10^{8.1} + 10^{8.1} + 10^{9.2} + 10^{9.2} + 10^{8.3} + 10^{8.3} + 10^{9.1} + 10^{9.1}) - 10 \log 12 =$$

$$10 \log(10^8 \cdot 184,762) - 10 \log 12 \quad 102,666 - 10,792 \quad 91,87 \text{ dB}$$

Segue que

$$Q = 10^{\left[\frac{100 - 91,874}{10} \right]} = 10^{0,8126} = 6,5$$

Deverá ser levantado um conjunto de medidas para cada frequência, o que permite calcular valores diferentes de Q em função das frequências.

Embora um tanto ou quanto trabalhoso, essa medida é de suma importância para que a Relação de Diretividade possa ser definida em toda sua extensão.

A figura 4.240 mostra valores de Q em função da frequência para alguns tipos mais comuns de falantes e de caixas acústicas, facilmente encontrados no dia-a-dia.

Assim como havia a sensibilidade axial e a sensibilidade relativa, a relação de diretividade também pode ser axial ou relativa. Como mostram as figuras 4.236 e 4.238, os falantes e as caixas também irradiam energia fora dos respectivos ângulos de cobertura.

Se imaginarmos um falante qualquer concentrando sua energia apenas no setor definido pelos ângulos de cobertura horizontal e vertical, podemos expressar sua relação de diretividade, que chamarei de geométrica (QG), como segue:

$$QG = \frac{180^\circ}{\arccos \left[\frac{\text{seno } \frac{\angle CH}{2} + \text{seno } \frac{\angle CV}{2}}{2} \right]} \quad (4.28)$$

Para o caso de um falante com ângulo de cobertura cônica (igual a θ), como por exemplo um alto-falante convencional de cone, a relação de diretividade geométrica é dada por:

$$QG = \frac{2}{1 - \cos \frac{\theta}{2}} \quad (4.29)$$

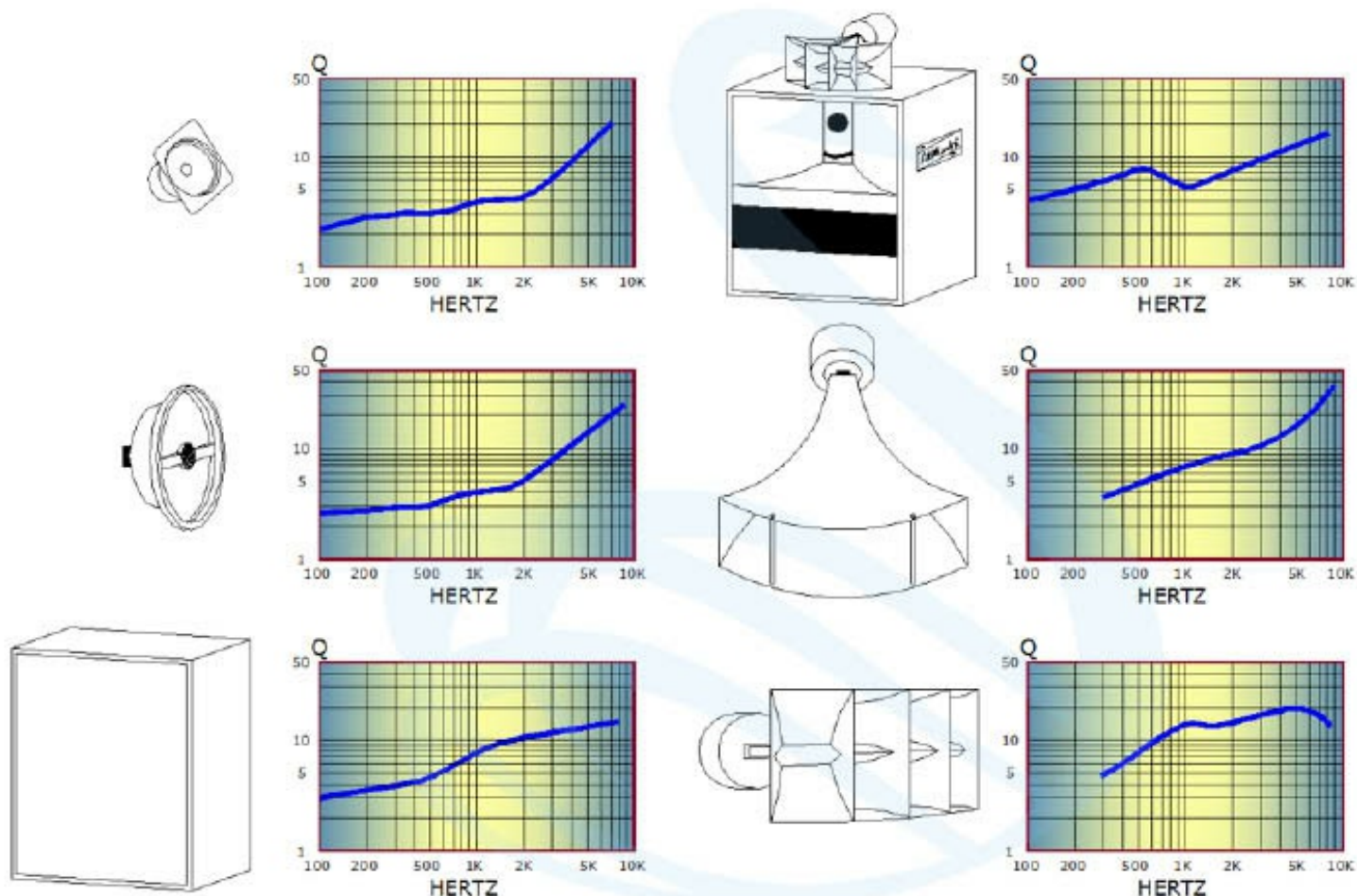


figura 4.240 valores típicos de Q para alguns falantes e caixas acústicas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 4.7.5.6 Índice de Diretividade (DI)



figura 4.241 ilustração gráfica do conceito de índice de diretividade acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É até intuitivo que na medida em que a relação de diretividade Q de um falante ou caixa acústica é maior, também aumenta o nível de pressão sonora que ele produz em seu eixo principal, porquanto a mesma energia acústica é desenvolvida.

Isto pode ser expresso da seguinte maneira matemática

$$DI = 10 \log Q \quad (4.30)$$

sendo

DI o índice de diretividade.

Então também podemos escrever

$$Q = 10^{\frac{DI}{10}} \quad (4.31)$$

A figura 4.241 ajuda a compreender o conceito de índice de diretividade. O nível de pressão sonora num recinto fechado é dado por

$$L_p = 94 + 20 \log \sqrt{\frac{4 \cdot \rho_{oc} \cdot W}{R}} \quad (4.32)$$

onde

ρ_{oc} é a impedância acústica do ar, isto é, 415 N segundos/m³

W é a potência acústica em watts, e R é a constante do ambiente em m²

Aplicando as propriedades dos logaritmos, nossa expressão pode ser escrita

$$L_p = 94 + (10 \log 1660) - 10 \log R + 10 \log(ef) \quad (4.33)$$

Decorre então que

$$10 \log(ef) = L_p - 94 - (10 \log 1660) + 10 \log R \quad (4.34)$$

Por outro lado, a sensibilidade pode ser escrita

$$L_p / 0 \text{ dBW} / 1 \text{ m} = 109 + DI - 10 \log(ef) \quad (4.35)$$

onde • 109 é o nível de pressão sonora gerado por uma caixa acústica onidirecional, medido a 1 metro de seu centro acústico, quando sua saída acústica é 1 watt, e • 10 log(ef) representa a perda de energia, pois nenhuma caixa acústica é 100% eficiente (ou seja, produz 1 watt acústico quando alimentado por 1 watt elétrico) Trabalhando com a expressão 4.35, podemos escrever

$$10 \log(ef) = L_p / 0 \text{ dBW} / 1 \text{ metro} - 109 - DI \quad (4.36)$$

Se igualarmos os dois termos 10 log(ef) das expressões 4.34 e 4.36, teremos:

$$L_p - 94 - (10 \log 1660) + 10 \log R = L_p / 0 \text{ dBW} / 1 \text{ metro} - 109 - DI \quad (4.37)$$

Separando DI

$$DI = L_p / 0 \text{ dBW} / 1 \text{ metro} - 109 - L_p + 94 + (10 \log 1660) - 10 \log R \quad (4.38)$$

Simplificando

$$DI = L_p / 0 \text{ dBW} / 1 \text{ metro} + 17 - L_p - 10 \log R \quad (4.39)$$

A expressão 4.39 nos permite usar uma sala reverberante para medir diretamente DI.

Entretanto, a medição implica em conhecer um conceito a ser introduzido no capítulo seguinte, que é o de campo reverberante. Portanto, é recomendável voltar a este trecho após a leitura daquele capítulo.

Escolhe-se um recinto que seja o mais reverberante possível e calcula-se sua Constante do Ambiente (R), conceito introduzido no capítulo anterior.

O falante ou caixa acústica é colocado no centro do recinto e alimentado com 0 dBW (1 watt).

Coloca-se o microfone do medidor de nível de pressão sonora atrás e longe do falante ou caixa acústica, e mede-se o nível de pressão sonora. E já se pode calcular DI e Q.

Vejamos com um exemplo. Queremos determinar DI e Q de uma corneta cuja sensibilidade axial é 105 L_p/0 dBW/1m. A Constante do Ambiente da sala que vamos usar é R = 10m².

Nosso medidor de nível de pressão sonora leu 101 L_p.

Então podemos calcular:

$$DI = 105 L_p / 0dBW / 1m + 17 - 101 L_p - 10 \log 10 = 11$$

e

$$Q = 10^{\frac{11}{10}} = 12,59$$

Há várias outras maneiras de medir as características direcionais dos falantes e caixas acústicas, a exemplo do método do tubo de ondas, do método da distância crítica, do método de Moir, da técnica de Alan Lubell, da técnica de Don Keele, *etc*.

Esses métodos não serão descritos, pois além do que vimos acima, que é simples e rápido, já vimos neste mesmo capítulo o método clássico da obtenção da relação da relatividade.

4.7.6 Compressão Dinâmica Há algumas coisas estranhas com o áudio profissional no Brasil. Uma delas é a falta de divulgação de algo tão importante quanto a compressão dinâmica. Mal que afeta a todos os alto-falantes profissionais de baixas frequências operados em seus regimes habituais. A principal razão de ser deste trecho é procurar mostrar porque o assunto é tão importante.

Realmente não me lembro de ter lido algo a respeito em qualquer publicação nacional especializada em áudio, exceto um artigo de minha autoria publicado na revista Música e

Tecnologia.

Provavelmente, por uma dessas coincidências da vida, talvez até aqui ninguém mais tenha julgado oportuno escrever sobre isso.

Mas aí está. Creio que este é um tema controverso. E também bastante longo e cheio de ramificações. Essas são razões suficientes para que já tivessem sido preparadas matérias sobre o mesmo.

Talvez focados por perspectivas diferentes, como a dos usuários, provavelmente a mais importante, mas também pela ótica dos fabricantes, dos consultores, dos projetistas de sistemas, e assim por diante.

Minha real intenção é que estas linhas sejam apenas uma pequena introdução. Há muito, muito mais a ser dito. E profissionais, empresas e até amadores que podem fazê-lo. Gostaria muito que doravante nossas revistas especializadas tratassem da compressão dinâmica com a profundidade que ela merece.

Portanto, quero agora encorajar a todos, usuários, consultores e projetistas, para que participem. Quanto aos fabricantes, seria interessante que eles oferecessem alguma literatura técnica a respeito, e porque não, dados sobre seus produtos. Com comentários, ilustrações e o que mais fosse julgado na pauta para esclarecimentos.

4.7.6.1 Corrente Elétrica X Calor Os elétrons dos materiais condutores dividem-se em dois grupos. Os fiéis e os infiéis. Os primeiros, como era de se esperar, estão com seus átomos e não abrem. Os infiéis, só conseguem manter ligações muito fracas com quaisquer estruturas atômicas. E por isso mesmo ficam pulando de galho em galho. Digo, de átomo em átomo. Como se estivessem sempre insatisfeitos.

Assim, em qualquer condutor elétrico já existe um movimento de elétrons livres, desordenado. O.K., você bateu na mosca. É a nuvem eletrônica.

É bastante fácil ordenar esse movimento, e ao mesmo tempo, estimulá-lo. Por exemplo, se o material condutor for um fio, será suficiente aplicar uma diferença de potencial elétrico entre suas extremidades. Os elétrons se encaminharão para a extremidade com potencial positivo, e a fonte tratará de repô-los pela extremidade com potencial negativo.

Esse movimento de elétrons, agora ordenado, é o que convencionamos chamar corrente elétrica.

Em sua caminhada, os elétrons vão encontrando obstáculos, que são seguidamente superados. Mas não sem colisões. O que gera energia térmica. A produção de calor com a passagem de corrente elétrica é algo bastante familiar a todos nós. Está em nosso cotidiano. O aquecimento dos filamentos de lâmpadas incandescentes, os riscos de incêndio associados a

fios sobrecarregados, *etc.*

Portanto, devemos ter em mente que a passagem de qualquer corrente elétrica por um condutor produz calor. O quanto, vai depender, entre outras coisas, do tempo durante o qual a corrente circula, e também, do quadrado de sua intensidade. Logo, uma corrente elétrica de 10A produz 100 vezes mais calor do que a corrente de 1A, todas as demais condições mantidas iguais.

4.7.6.2 Inconveniente X Problema De modo geral, o calor produzido não é problemático. Por exemplo, em instalações domésticas, comerciais ou industriais bem projetadas e bem executadas, mesmo com produção de calor tudo anda redondo. Como as bobinas dos alto-falantes são construídas com fios condutores elétricos, também elas ficam sujeitas ao aquecimento. O que pode ser algo tão assimilável quanto o das instalações antes referidas, ou um problema mais sério do que muitos imaginam, chamado compressão dinâmica.

Vamos restringir esta nossa discussão aos falantes de baixas frequências, que são os que trabalham com níveis mais elevados de corrente elétrica. Até que ponto o aquecimento das bobinas móveis é um fenômeno sem consequências, ou um problema, é algo que depende apenas do regime de uso do falante.

Vejamos duas situações opostas.

De um lado, temos um sistema de som residencial. O audiófilo privilegia a qualidade. Quer gamas dinâmicas bastante elevadas.

Os amplificadores devem ter capacidade para tratar picos com um mínimo de distorções. Clipamentos? Nem pensar. E as exigências de nível de pressão sonora geralmente são moderadas. E muito. O que resulta desse quadro é que os falantes são muito pouco exigidos. Trabalham sempre muito aquém de seus limites. Na maioria dos casos com margens mínimas ao redor de 20,0 dB.

De outro lado estão os sistemas profissionais. Caracterizados por “necessidades” de níveis assombrosos de pressão sonora. Sistemas permanentes ou não, quanto menor é o espaço ocupado pelas caixas acústicas, melhor. Como fórmula para reduzir espaços sem perder pressão sonora, os fabricantes de falantes profissionais produzem transdutores que são mais eficientes a cada dia, e que também podem suportar maiores potências elétricas.

Ao contrário do audiófilo, nas montagens profissionais está o indefectível compressor, que aproxima as médias de programa dos picos à vontade do freguês. E os falantes profissionais são operados em regime praticamente contínuo, bem próximo de seus limites. Pode-se dizer que, do ponto de vista de compressão dinâmica, operado dessa forma, o falante é colocado numa situação crítica.

Para termos uma noção do calor produzido, lembremos que a eficiência típica de um falante profissional de baixas frequências dificilmente supera a casa dos 2%. Se estamos falando de 2%, de cada 500 watts que lhe são entregues, 10 deles são convertidos em som e 490 em calor! Para eficiências inferiores a coisa é pior. O aquecimento das bobinas móveis aumenta a resistência ôhmica do fio condutor. Essa resistência mais elevada pode ser facilmente calculada por

$$R'_E = R_E (1 + \alpha \Delta t) \quad (4.40)$$

onde • R'_E é a nova resistência, mais elevada • R_E é a resistência original • α é o coeficiente térmico de temperatura de resistência do material, e • Δt é a diferença de temperatura. Temperaturas de bobinas móveis de 250° C, e até mais, já foram medidas nas condições operacionais críticas mencionadas.

Façamos um exercício. Uma bobina móvel com $R_E = 6 \Omega$. A temperatura ambiente é 30°C e a temperatura da bobina é 250°C. $\Delta t = 220^\circ\text{C}$. O coeficiente α é da ordem de 0,004 $\Omega/^\circ\text{C}$ para a maioria dos materiais usados na fabricação das bobinas móveis, como o cobre, o alumínio, e outros. Então Sei que boa parte dos leitores já está sentindo em que águas de bacalhau isto vai dar. Mas observem, isso não é só um exemplo acadêmico. É um caso bem real. Consequências? Claro. Uma boa e três más.

A boa primeiro. Com a resistência aumentada, é como se o falante criasse um dispositivo de autoproteção, na medida em que a carga mais elevada para o amplificador automaticamente reduz a exigência de corrente elétrica na proporção inversa do aumento da impedância.

Agora as ruins. A compressão dinâmica ceifa potência, podendo facilmente enganar projetistas e trazer consequências desastrosas. A qualidade sônica é degradada. E finalmente, alteram-se os parâmetros Thiële-Small (T-S). O resultado é que as caixas acústicas carinhosamente projetadas podem entrar em parafuso.

4.7.6.3 A AutoProteção Vimos que os amplificadores são dispositivos projetados para entregar um determinado nível de potência elétrica a uma carga com impedância conhecida. Como 500 watts sobre 4 Ω . O projetista do amplificador calcula que voltagem deve ser fornecida, no caso

$$V = \sqrt{500 \cdot 4} \simeq 44,7 \text{ volts}$$

e que correntes elétricas os circuitos de saída deverão suprir. No caso,

$$I = \frac{44,7 \text{ volts}}{4 \Omega} \simeq 11,2 \text{ ampères}$$

Em condições normais, se a carga ligada a esse amplificador é inferior a 4 Ω , o dreno de corrente é superior ao calculado, e os semicondutores dos circuitos de saída do aparelho podem ser danificados.

Inversamente, se a impedância da carga é superior aos 4 Ω , a demanda de corrente é inferior à figura calculada.

Nessa situação, que é equivalente à do aumento da resistência da bobina móvel, tanto o amplificador quanto a carga ficam mais protegidos do que antes.

Em outras palavras, por pior que seja, o aquecimento da bobina traz a vantagem de proteger o falante contra danos por excesso de potência elétrica.

4.7.6.4 Ceifamento de Potência Acústica É óbvio que a redução da corrente elétrica por si só já implica numa redução de potência elétrica, e consequentemente, de potência acústica. Mas não é esse o aspecto que pretendo salientar. O que quero mostrar de fato é o conceito da compressão dinâmica. Trata-se de um fenômeno relacionado de perto com um comportamento não linear dos alto-falantes.

A teoria nos dá elementos para calcular a eficiência de um falante, que acaba por expressar quanto da potência elétrica que lhe é entregue acaba sendo convertida em potência acústica. Uma das maneiras de calcular essa eficiência é através da expressão

$$\eta_0 = \frac{\rho(BL)^2}{2.\pi.C.R_E.(S_D)^2.(M_{AS})^2} \quad (4.41)$$

O único desses fatores que nos interessa no momento é R_E , que é exatamente a resistência da bobina móvel. Como a eficiência do falante é inversamente proporcional à essa resistência, percebe-se que quanto mais alto é o valor de R_E menor é a eficiência do falante.

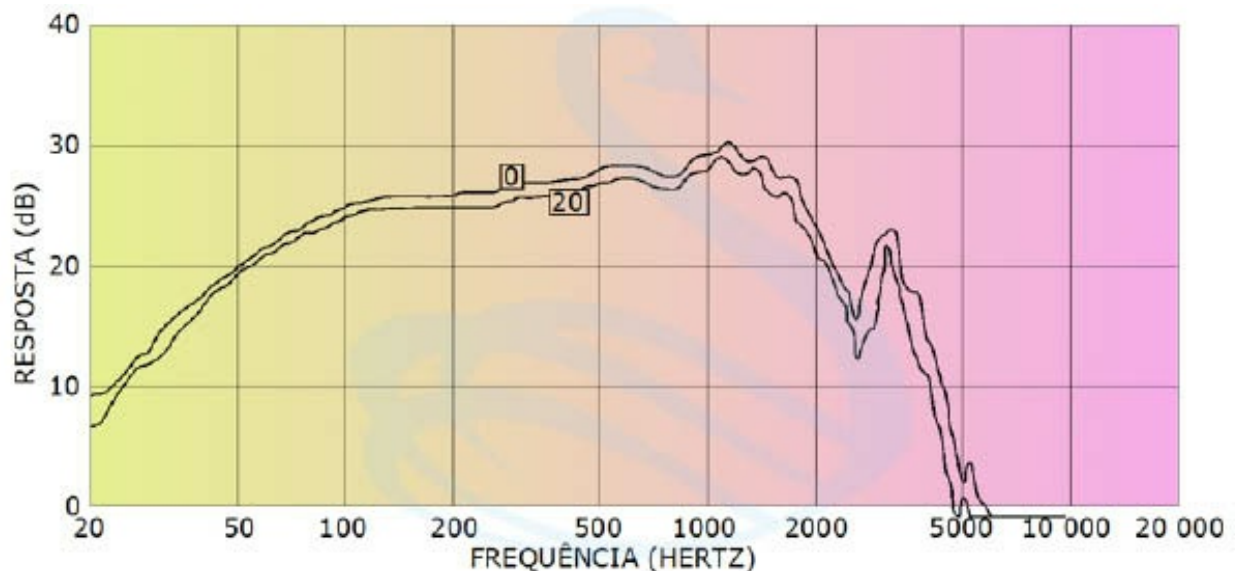


figura 4.242 curvas de resposta do mesmo falante excitado com 0 dBW e com 20 dBW
cortesia JBL Professional Como este é um ponto que nos interessa sobremaneira, vejamos mais sobre

ele. A figura 4.242 exibe duas curvas, assinaladas com as marcas 0 e 20. A curva superior refere-se a 0 dBW, ou 1 watt RMS, e a inferior a 20,0 dBW, ou 100 watts RMS. As duas curvas são as respostas do mesmo alto-falante para os níveis de potência de 0 e 20,0 dBW. Portanto, a curva superior deveria estar 20,0 dB abaixo da inferior. Para aproximar as duas curvas, a curva correspondente a 0 dB foi integralmente elevada em 20,0 dB, de forma a compensar os 20,0 dB de diferença de excitação do alto-falante.

Se a compressão dinâmica não existisse, as duas curvas deveriam estar rigorosamente superpostas.

O que não ocorre.

Isto porque, ao responder 20,0 dBW, o alto-falante perde rendimento em relação ao que faz respondendo a 0 dBW. A diferença entre as curvas é a medida da compressão dinâmica.

Esse fato real contraria o dito popular que se um falante tem sensibilidade de 101,0 Lp/0dBW/1m, e pode trabalhar com segurança ao nível de 26,0 dBW, então, assim excitado, a 1,0 metro de distância produzirá 127,0 Lp. Vemos que ele produzirá menos do que os cálculos teóricos permitem predizer. Infelizmente o problema não para por aí.

A compressão dinâmica piora com o tempo, pois os efeitos do fenômeno são cumulativos. Veja as curvas da figura 4.243. Todas elas foram tomadas ao nível de 23,0 dBW (200 watts RMS). A curva superior foi obtida após 20 minutos de operação. A curva abaixo desta foi obtida após 40 minutos, e assim por diante, até que a curva inferior traduz a situação depois de 100 minutos.

Como se pode notar, em alguns segmentos do espectro a diferença entre as curvas é de aproximadamente 6,0 dB!

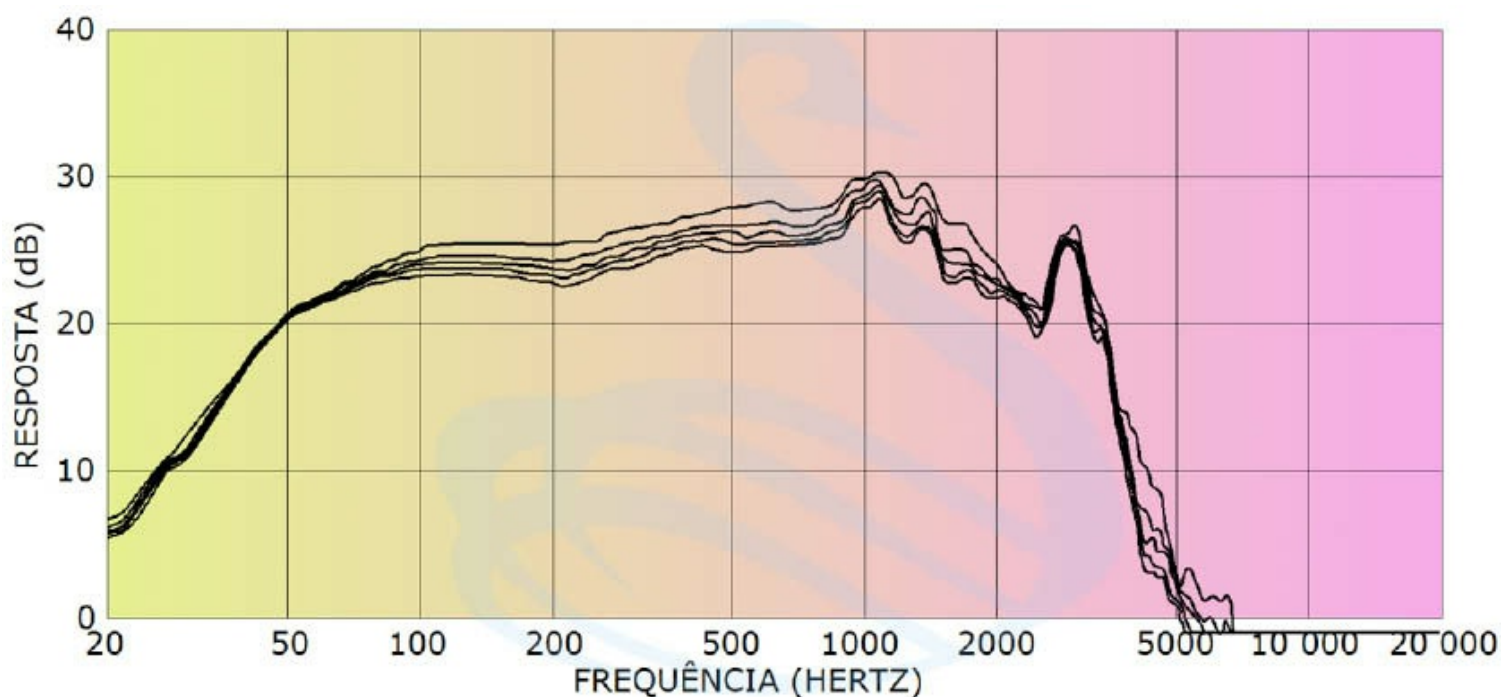


figura 4.243 efeito cumulativo da compressão dinâmica, num intervalo de 100 minutos cortesia JBL Professional

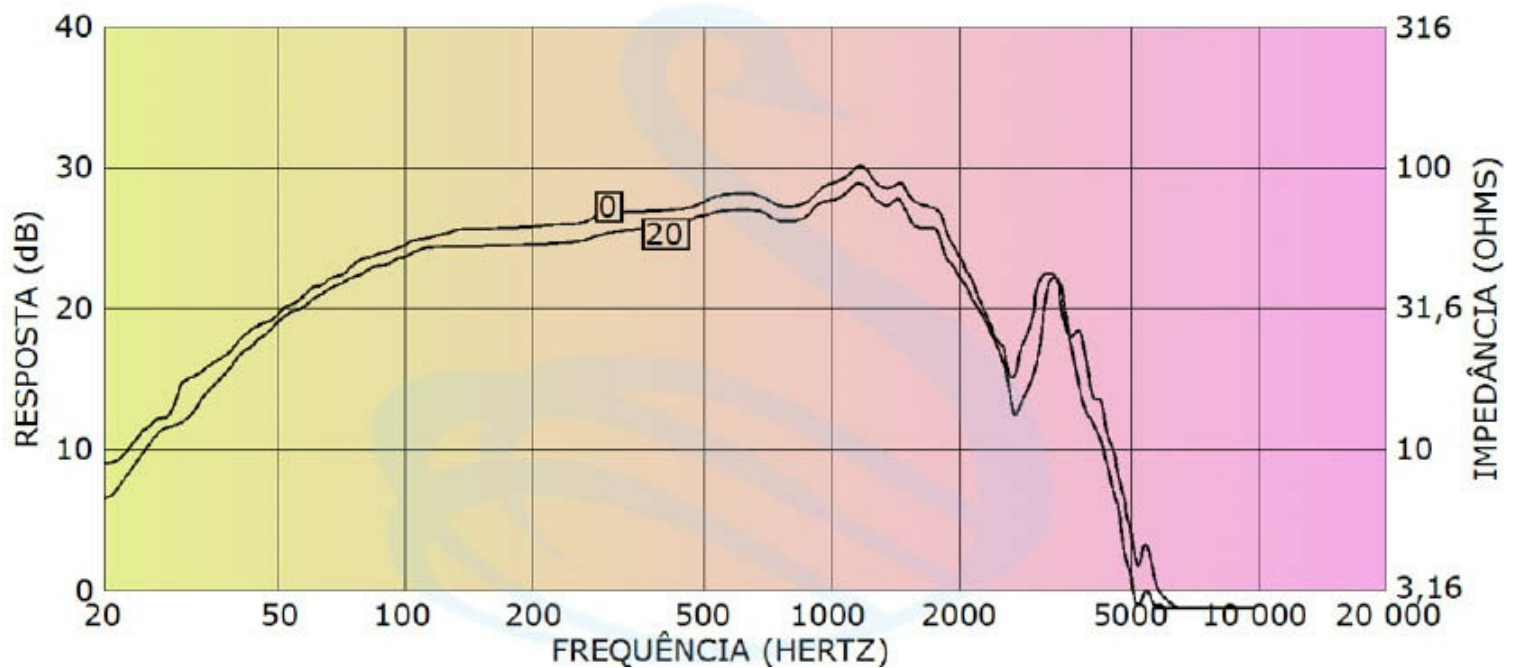


figura 4.244 compressão dinâmica do falante JBL 2225H, operado com 0 dBW e com 20 dBW
cortesia JBL Professional Para que se tenha uma noção mais clara de como os alto-falantes são afetados pela compressão dinâmica, veja nas figuras 4.244 a 4.245 uma série de medidas efetuadas pela JBL Professional.

Para todos os casos dessas duas figuras os níveis são como na figura 4.226. Isto é, 0 dBW (1 watt RMS) e 20,0 dBW (100 watts RMS).

Vale notar que submetido a uma compressão dinâmica de apenas 3,0 dB, o falante produzirá somente metade da potência acústica do que seria de se esperar caso não houvesse qualquer compressão dinâmica.

O projetista que se organiza, obtém ou mede a sensibilidade dos falantes que vai utilizar, sabe que nível de pressão sonora quer atingir, e calcula a potência elétrica necessária sem levar em conta o fenômeno da compressão dinâmica, pode literalmente quebrar a cara.

Se ela vier a acontecer, digamos, no entorno de 3,0 dB, e não tiver sido levada em conta nos cálculos, o nível de pressão sonora só será atingido se a potência elétrica disponível e alto-falantes fores duplicados.

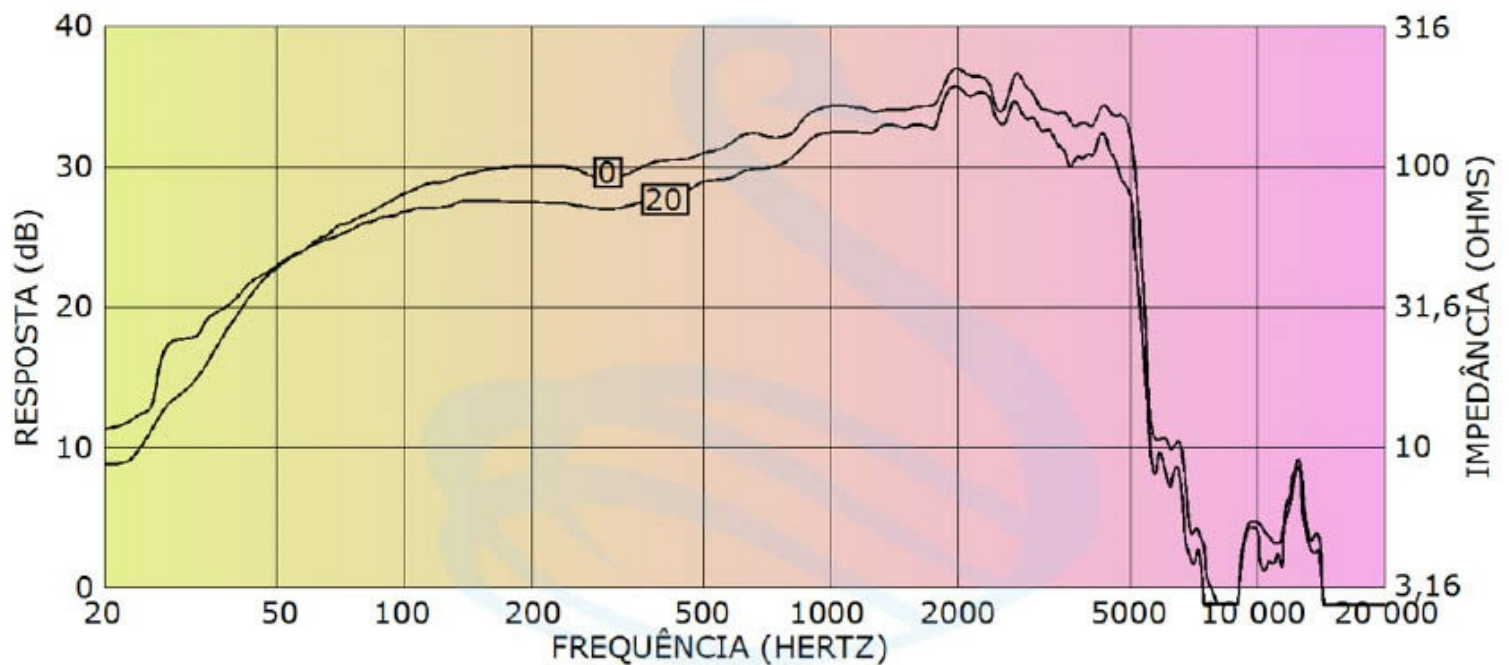


figura 4.245 compressão dinâmica do falante ElectroVoice EVM-15L, operado com 0 dBW e com 20 dBW

cortesia JBL Professional Dá para sentir o tamanho da encrenca?

Assim, é recomendável que todo e qualquer projetista de áudio estude com profundidade esta questão da compressão dinâmica e que compreenda detalhadamente os mecanismos que podem alterar os principais parâmetros de desempenho de um sistema.

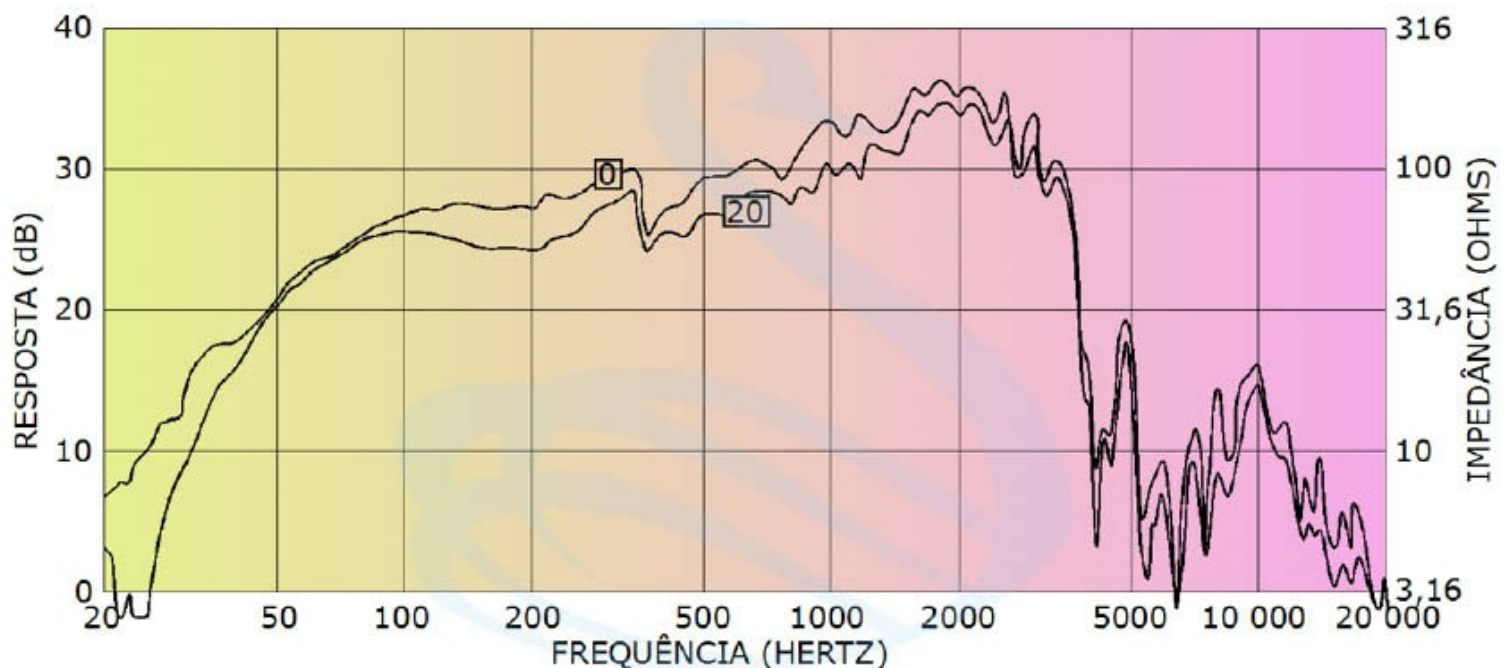


figura 4.246 compressão dinâmica do falante ElectroVoice DL-15X, operado com 0 dBW e com 20 dBW

cortesia JBL Professional O profissional que se dispõe a estudar a compressão dinâmica com um certo grau de profundidade deve estar preparado para enfrentar muitas dificuldades.

A começar pela inexistência praticamente total de especificações a respeito.

Como se os fabricantes não tivessem o menor interesse em divulgar dados técnicos que, de alguma maneira, possam “comprometer” seus produtos.

Ora, sem essas informações os compromissos podem acabar sendo transferidos para o

projeto e, finalmente, para o cliente. Diante disso o projetista pode procurar a cooperação dos fabricantes visando a realização conjunta das medições.

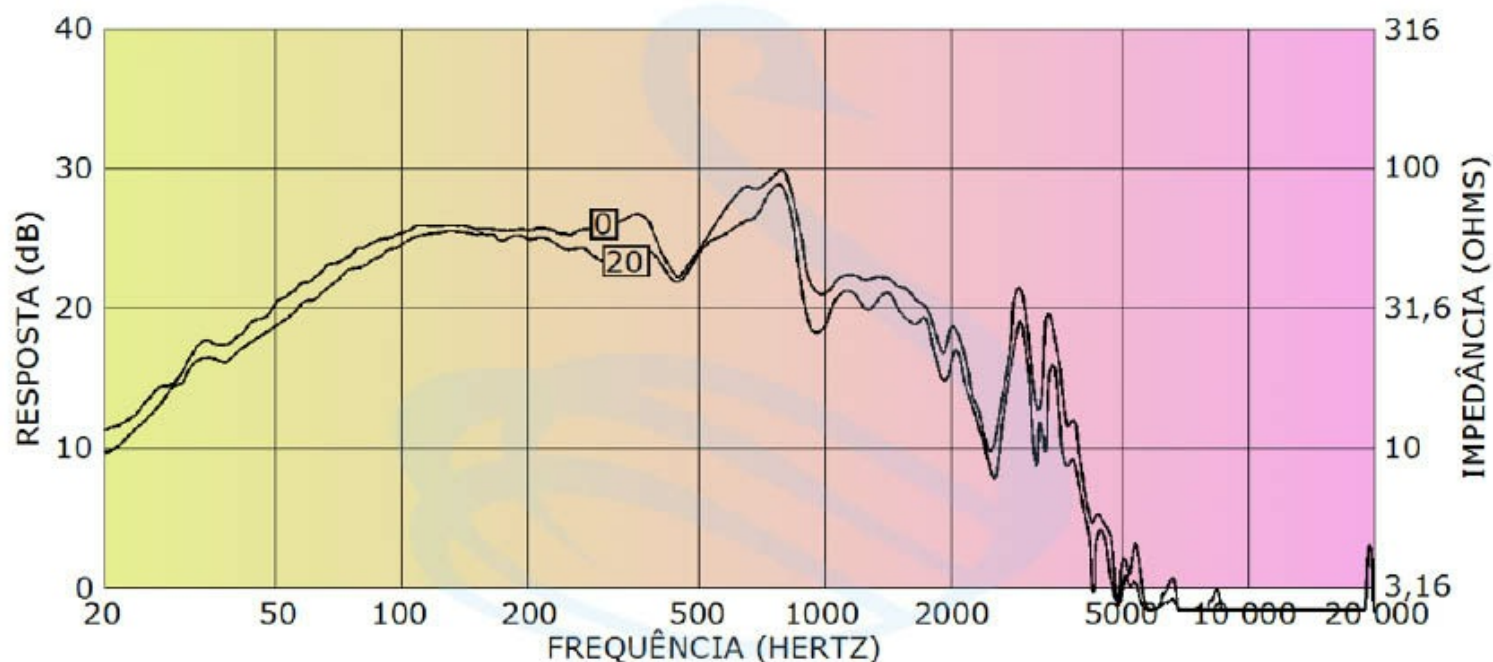


figura 4.247 compressão dinâmica do falante Gauss 4883A, operado com 0 dBW e com 20 dBW
cortesia JBL Professional

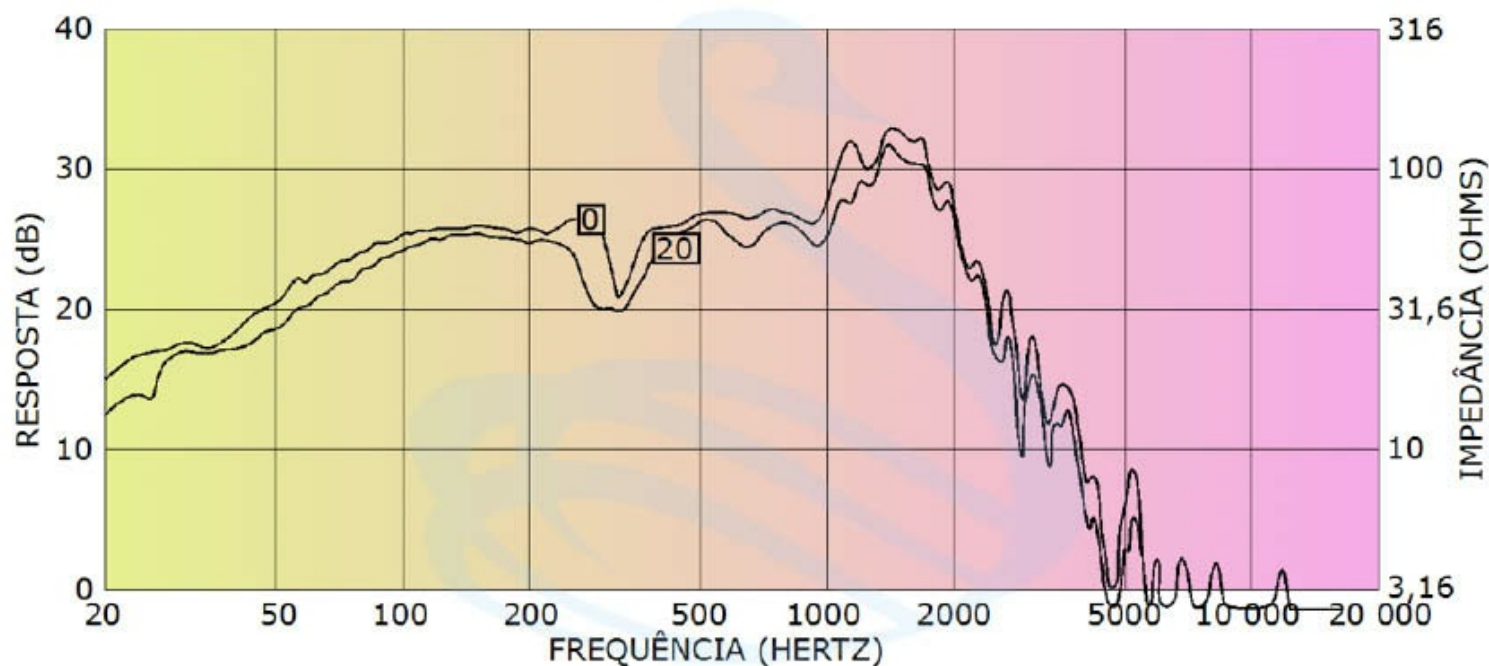


figura 4.248 compressão dinâmica do falante Fostex L469, operado com 0 dBW e com 20 dBW
Cortesia JBL Professional

4.7.6.5 Degradação da Qualidade Por si só, a compressão dinâmica já é uma forma de distorção. De fato, se o ganho do amplificador é, apenas para exemplificar, 30,0 dB, qualquer sinal elétrico de entrada no mesmo aparecerá amplificado em 30,0 dB entre seus terminais de saída. E este sinal amplificado e encaminhado para o alto-falante não será linearmente transduzido. Será como deve para níveis baixos e menor do que deveria para níveis elevados, dependendo apenas do nível e do tempo de duração desse mesmo sinal.

Mas vamos adiante. Verifiquemos melhor as curvas das figuras 4.246 a 4.247, que mostram como se desenvolve a compressão dinâmica para uma série de alto-falantes de algumas origens diferentes.

Veja que a compressão dinâmica não é sempre igual para todas as frequências.

Em torno da região da frequência de ressonância do cone, onde as excursões físicas são moderadas, os efeitos da compressão dinâmica são reduzidos. Em outras regiões, onde as excursões do cone são elevadas, o fenômeno se faz presente com intensidades mais marcantes.

Isso é apenas outra forma de distorção, embutida na primeira.

A estas alturas deve parecer óbvio que qualidade sônica pode acabar muito degradada apenas em razão da compressão dinâmica. Especialmente diante de certas circunstâncias nas quais os falantes são muito exigidos por períodos prolongados. Como acontece com boa parte das empresas locadoras de som.

4.7.6.6 Alteração dos Parâmetros Thiële-Small A obtenção dos parâmetros T-S, por quaisquer dos processos correntes, dificilmente é efetuada com níveis elevados de potência elétrica. Será que alguém já pensou em excitar com tais níveis o falante cujos parâmetros se quer levantar e, só fazer os testes após duas horas, para que os efeitos cumulativos da compressão dinâmica sejam considerados no processo?

Bem, talvez essa não seja uma situação normal de laboratório. Mas, sem dúvida, é uma situação encontrada em profusão pelos bares da vida. E também em teatros, cinemas, casas de espetáculos em geral, palcos em locais abertos e fechados com sistemas locados, *etc.*

Quem conhece um pouco os parâmetros T-S sabe que uma coisa é fazer as medidas a níveis muito baixos, onde R_E é simplesmente medida com uma ponte de precisão, com a temperatura da bobina móvel idêntica à temperatura ambiente.

Sem que o falante sequer tenha sido “levemente aquecido“, e outra, nas condições críticas a que me referi anteriormente.

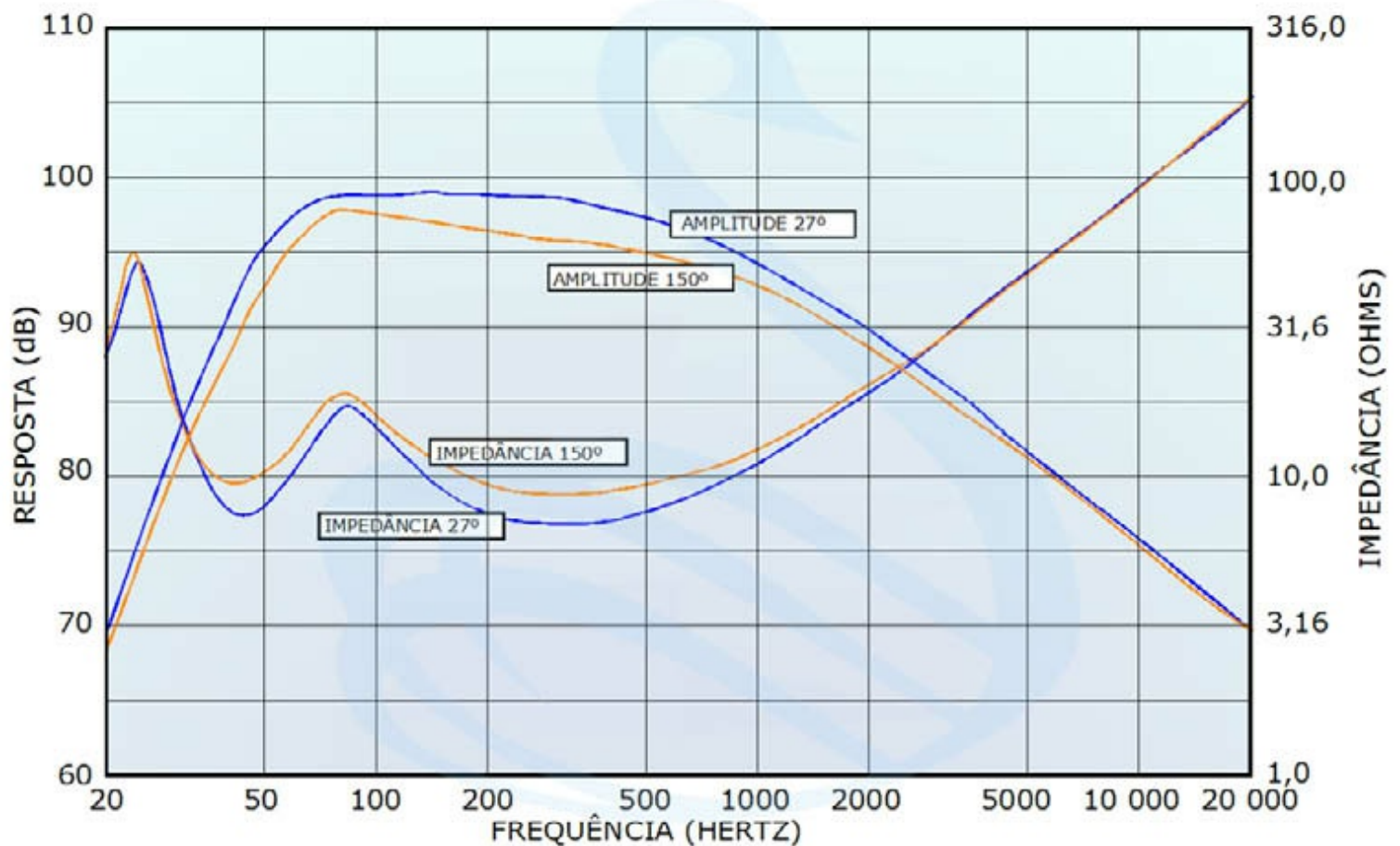


figura 4.249 características de impedância de um mesmo falante operando a 0 dBW e a 20 dBW cortesia JBL Professional Mas também não pretendo aprofundar mais nisso. Apenas para lhes dar uma ideia de como os parâmetros T-S podem ser afetados, a figura 4.249 ilustra uma medição muito interessante levantada pela JBL Professional.

Lá estão as respostas de frequência e as magnitudes de impedância de um falante. As curvas azuis foram levantadas quando a temperatura da bobina móvel era 27°C. As curvas vermelhas mostram as variações que ocorrem quando a temperatura da bobina móvel atinge 150°C.

Note bem os deslocamentos e avalie os resultados práticos disso.

Note também o que ocorre com f_L e f_H nos dois casos. Perceba o que acontece com o termo $f_H - f_L$ nas duas situações. Observe também como são alterados os módulos das impedâncias reduzidas para essas frequências (f_L e f_H) nos dois casos.

Apenas para manter o assunto alimentado, vamos deixar algumas perguntas no ar. Será que vale a pena fazer um sacrifício danado para obter os parâmetros T-S de um falante profissional (a menos que o fabricante os forneça), calcular uma caixa acústica de baixas frequências como manda o figurino, ou seja, usando todo o arsenal teórico que está por trás dos cálculos correspondentes, para depois usar os falantes em condições extremas, sob as quais esses mesmos parâmetros poderão ser muito diferentes do que se calculou e do que se supunha? Se não, o que fazer? Como evitar as distorções das quais falamos? Quais serão os efeitos da compressão dinâmica sobre os falantes profissionais produzidos no Brasil? Alguém que se disponha a testá-los?

4.7.7 Caixas Acústicas Ativas e Amplificadores Independentemente de quantidade de vias, de quantos são os falantes utilizados, do tipo de gabinete, de tamanho ou de aplicação, qualquer caixa acústica ou é passiva ou é ativa. Esses termos definem a relação entre a caixa acústica e o amplificador que a energiza.

As caixas acústicas passivas são o que discutimos até este ponto. Portanto, são desprovidas de amplificadores. O que significa que elas devem ser alimentadas a partir de amplificadores externos. Essas interligações devem ser feitas com cabos de bitola considerável, adequadas para as correntes elétricas que circularão.

Já as caixas acústicas ativas são equipadas com amplificadores próprios. Isto é, são aparelhos on board. Usualmente montados na parte traseira da caixa acústica. Mas convém esclarecer um aspecto relacionado com a terminologia.

Com certeza você já ouviu os termos caixa acústica ativa e caixa acústica amplificada sendo usados de forma intercambiável. Entretanto, há quem os diferencie.

Antes disso, quero esclarecer que a origem do termo ativo é dos aparelhos que funcionam independentemente de energia externa, incluindo pilhas e baterias. Como um simples crossover analógico, construído com bobinas, capacitores e resistores. Esses são circuitos tipicamente passivos.

Já os aparelhos que só funcionam se alimentados por energia provida por pilhas e/ou baterias, ou ainda, por energia comercial, esses são os ativos.

Entretanto, o termo caixa acústica ativa é usualmente associado a caixas acústicas que além de ter amplificadores próprios também possui crossovers eletrônicos. O motivo é que os crossovers eletrônicos, que exigiam energia externa, vieram antes das caixas equipadas com amplificadores. E aqueles crossovers eletrônicos foram logo batizados de ativos.

Portanto, uma caixa acústica ativa no mínimo possui um crossover eletrônico e tantos amplificadores quantas são suas vias.

Há quem chame essas caixas acústicas de “fully active”, ou totalmente ativa.

Já as caixas acústicas que possuem apenas amplificadores, sem crossovers eletrônicos, são chamadas de caixas acústicas amplificadas. Portanto, estas podem ter apenas um amplificador de potência seguido de um crossover passivo, ou possuir tantos amplificadores quantas são as suas vias, os quais devem ser alimentados com sinais independentes, já filtrados para alimentar os falantes correspondentes.

Então, qualquer caixa ativa ou amplificada deve ser alimentada com, no mínimo, dois cabos. Um é o de energia e o outro o que porta os sinais de áudio nível de linha.

Nos produtos profissionais os conectores mais comuns para portar sinais de áudio são os XLR de 3 contatos, sendo as entradas sempre balanceadas. A sensibilidade de entrada nominal

típica é da ordem de 0 dBu.

4.7.7.1 DSPs

Em função das exigências de mercado e dos caminhos naturais que os sistemas de profissionais de áudio foram seguindo, as caixas acústicas ativas passaram a ser a esmagadora maioria. Com efeito, caixas acústicas amplificadas como definimos anteriormente praticamente não são mais fabricadas. Um dos motivos principais que levou a isso foi a dramática redução de custos dos DSPs, o que ocorreu simultaneamente com um aumento brutal de sua capacidade de processamento. Outro fator foi o emprego dos sistemas ASE (Áudio Sobre Ethernet), o que possibilitou racionalizar toda a operação dos sistemas, com configurações ajustáveis a partir de qualquer ponto desejado via rede wireless, desde que as caixas acústicas passassem a empregar DSPs e NICs para possibilitar a inclusão na rede.

Sempre foi possível incluir na circuitação de uma caixa acústica ativa um DSP. Atualmente, os DSPs das caixas ativas têm arquitetura SHARC, da Analog Devices.

Os conversores AD e DA nos melhores produtos apresenta relação S/R superior a 120 dBA, mas podendo chegar a 130 dBA, com níveis de distorção harmônica inferiores a 0,003% de 20 Hz a 20 kHz. O que, via de regra, exige sistemas de 24 bits com amostragem de 96 kHz. A precisão interna é da ordem de 40 bits com ponto flutuante.

Nos melhores produtos o firmware pode e deve ser facilmente atualizado através da Internet.

As memórias RAM típicas são de 8 MB, com apoio de flash de mais 2 ou 4 MB para presets.

A latência é da ordem de 3,5 milissegundos, com fortes tendências de redução.

Os DSPs se prestam a controlar os parâmetros de crossovers, que usualmente podem ser configurados Butterworth, Linkwitz-Riley, Bessel, em quaisquer hipóteses simétricos ou assimétricos, usualmente de 6,0 a 48 dB/oitava, IIR, FIR de fase linear e híbridos IIR-FIR.

Outro recurso provido pelos DSPs é a equalização, tanto a de entrada quanto a de saída, que podem ser em camadas, shelving, pico e vale, formada em grupos de até 32 filtros com capacidade total limitada, a exemplo de 256 filtros.

Os equalizadores de saída são usualmente formatados a partir de 16 filtros paramétricos IIR para cada canal, além de filtros passa altas, passa baixas, filtros shelving de atuação customizada, passa tudo, *etc*. Muitos DSPs permitem a customização de filtros FIR com até 384 taps tanto a 96 kHz quanto a 48 kHz de amostragem.

Os atrasos de sinais são recursos encontrados em praticamente todos os DSPs das caixas acústicas ativas equipadas com o recurso DSP.

A limitação de sinais é outro recurso dos DSPs. Usualmente o usuário pode configurar o limiar e a taxa de compressão. Desse modo, a preservação da caixa acústica é uma das preocupações dos fabricantes.

O mercado costuma definir para que direções as coisas devem seguir. Sempre atentos, os fabricantes procuram atender as demandas mais evidentes que o mercado evidencia. Uma dessas demandas atuais é das caixas acústicas ativas.

Tanto é assim que, sem exceção, todos os grandes fabricantes de caixas acústicas para uso profissional disponibilizam produtos ativos.

Como vamos discutir muitas questões que incluem os DSPs, vou aprofundar um bocadinho este tema nas linhas que seguem.

Enquanto programas como processadores de texto, planilhas eletrônicas e outros semelhantes apenas reorganizam dados registrados, os DSPs são entidades que elaboram operações matemáticas. Porque? Porque os computadores convencionais que você e eu usamos são concebidos, projetados e construídos para lidar com tarefas típicas de negócios e aplicações gerais, e não são otimizados para lidar com algoritmos como filtragem FIR e aplicação de FFT, MLS e outras técnicas de análise. É exatamente aí que entram os DSPs, processadores otimizadíssimos para realizar rapidamente contas de alta complexidade. Seu desenvolvimento recente deve-se ao enorme naipe de aplicações para as quais eles se mostraram muito apropriados. Como prospecção de petróleo, telefonia celular, radar, sonares, medicina, engenharia, apoio a centrais de controle em geral, instrumentos altamente sofisticados, armamento de última geração, alta fidelidade, áudio profissional e tantos outros campos.

Cada um desses campos acabou desenvolvendo sua própria tecnologia de DSPs, cada qual baseada em algoritmos exclusivos, matemática adequada para necessidades específicas e técnicas daí resultantes.

Uma das principais diferenças entre os computadores convencionais e os DSPs é que os primeiros usualmente trabalham com processamento off-line, porquanto os DSPs trabalham processando em tempo real. Pense num computador usado como gravador de som. Depois que a seção de música termina os sinais gravados podem ser lidos, rearranjados como bem se possa entender e organizados para consumo final. Isto é, quando se faz o processamento das informações elas totalmente disponíveis para isso. Já no caso dos DSPs, os sinais de saída devem ser disponibilizados ao mesmo tempo em que os sinais de entrada vão sendo adquiridos, com uma certa latência, admissível na maioria dos casos. Por exemplo, numa comunicação telefônica, ou mesmo num radar, uma latência de poucos milissegundos não será sequer percebida.

A principal razão pela qual se prefere usar um DSP e não um processador convencional é a velocidade, assim entendida a habilidade de deslocar amostras, processá-las e disponibilizá-las na saída. Ainda assim, por vezes é preciso contar com velocidades que um único DSP não é capaz de oferecer. A solução consiste em utilizar vários DSPs trabalhando em conjunto, o que constitui uma técnica denominada multiprocessamento ou processamento paralelo. Muitos DSPs são concebidos para trabalhara com esse recurso. Por isso, são equipados com facilidades específicas imaginadas para facilitar ao máximo o multiprocessamento. Por exemplo, esses DSPs não requerem qualquer hardware lógico adicional para que operem em conjunto. Apenas barramentos comuns são suficientes porque o que é necessário já vem contido no próprio DSP.

A chegada de DSPs com muito elevada capacidade de processamento e velocidade em linha com as necessidades trouxe possibilidades que, juntas, definem o que mais se espera desses dispositivos quando eles são aplicados em componentes utilizados em sistemas profissionais de áudio, proporcionando:

- possibilidade de encaminhar simultaneamente múltiplos canais de áudio para transdutores específicos de forma direta e descomplicada
- poder contar com vários sinais diferentes de áudio ao mesmo tempo sem necessidade de teclas de roteamento, seletores e outros dispositivos semelhantes
- sistemas muito mais fáceis de operar do que sistemas contemporâneos, inclusive os de natureza digital
- todo o processamento é feito no domínio digital, o que reduz ou elimina os problemas de ruído e de conexões físicas
- possibilidade de controle remoto muito inteligente de atividades como mixagens, ajuste de níveis, incluindo níveis de masters, e muitos outros, tudo exercido através de iPads, iPhones, Androides e Samsungs, além de tablets genéricos, via Wi-Fi e/ou Ethernet convencional ou mesmo de Internet
- equalizações, limitações, funções de crossovers, noise gating e dúzias de funções antes entregues a uma sequência de unidades individuais ligadas em série, agora são todas obtidas num único DSP ou grupo deles, economizando espaço e mão de obra, e simplificando sobremodo a arquitetura dos sistemas
- possibilidade de redução e/ou eliminação de microfonia
- controle da saída de line arrays e de caixas acústicas em geral, ajustando as ondas sonoras que deixam os transdutores às características acústicas dos espaços abertos ou fechados
- proteção irrestrita aos sistemas
- supervisão operacional dos sistemas através de monitoração contínua de status
- medições em áudio

A respeito de medições em áudio, recomendo o artigo “Fundamentals of Modern Audio Measurements”, escrito por Richard C. Cabot, da Audio Precision e Fellow da AES, matéria essa publicada no JAES – Jornal da Audio Engineering Society, Volume 47 Número 8, de setembro de 1999, que pode ser encontrado no seguinte link (com a devida permissão da AES): <http://www.hit.bme.hu/~papay/edu/Acrobat/Fund.pdf>

Uma das coisas interessantes com os DSPs é que muito tempo tem sido dedicado à forma como eles podem ser interfaceados com os operadores. A ideia principal tem sido facilitar ao máximo as operações, mediante uso de processos intuitivos e lógicos, quase todos baseado em experiências que criaram cultura nesse sentido. O uso de telas touchscreen também tem sido outra ferramenta que tem facilitado consideravelmente a operação de sistemas de modo muito amplo.

O que sempre se desejou dos sistemas digitais é que eles fossem portadores de um dos melhores recursos do áudio analógico, que é o “plug and play”. Porque muitos aparelhos digitais, supostamente modernos e portadores de tecnologia de ponta, eram useiros e vezeiros em criar problemas de IP, de servidores DHCP, de bloqueio de portas, de descasamento de firmware, *etc.* Tudo isso é atualmente passado no contexto dos modernos DSP que realmente oferecem a tranquilidade de “plug and play”.

Outro segmento no qual se constata franca evolução dos DSPs modernos é a adequada integração hardware/software. Que também caminhou visando facilitar as coisas para os operadores.

Os plug-ins voltados para estúdios e baseados em plataformas DSP também são produzidos em larga escala, ampliando as possibilidades para músicos e produtores musicais, incluindo a recriação de caráter sônico de inúmeros aparelhos vintage que foram – e muitos ainda são – sucesso entre os especialistas.

Fico muito feliz quando vejo entre meus alunos que os benefícios provenientes da implementação de crossovers ativos foi muito bem percebida e interpretada.

O que está diante de nós, agora, é um novíssimo universo que pode ser facilmente implementado com a ajuda dos DSPs. São os crossovers baseados extensivamente em processamento implementado com a ajuda de DSPs poderosos, que permitem operações de filtragem FIR com fase linear e filtros com características brickwall, facilidade esta discutida com detalhes no capítulo 7.

Outro desses recursos é a possibilidade de controle dos feixes de sistemas line array e de colunas de falantes ativos baseados em arquitetura de controle por DSP, o mesmo ocorrendo com caixas acústicas convencionais. Esse assunto também é discutido com detalhes no capítulo 7. Entretanto, quem quiser consultar uma fonte confiável recomendo o link: <http://www.meyersound.com/support/papers/steering/>

Ele trata do artigo “DSP Beam Steering with Modern Line Arrays”. É um relatório técnica da Meyer Sound escrito pelo experiente Perrin Meyer.

Além disso tudo, a maioria dos aparelhos baseados em plataformas DSP oferecem recursos para integração com automação provida pela Crestron, pela AMX, pela StarDraw e por muitos

outros provedores de automação. Por sinal, essa têm sido uma tônica bem visível de praticamente todos os aparelhos baseados em DSP.

4.7.7.2 Amplificadores para Caixas Ativas Alto falantes ativos requerem amplificadores relativamente potentes, de dimensões reduzidas, com o menor peso possível e, para aplicações em sistemas profissionais de áudio, de confiabilidade indiscutível. Usualmente esses amplificadores são unidades com duas ou três vias, para energizar as caixas acústicas de duas ou três vias, que se constituíram em padrões de mercado.

Felizmente hoje já é possível projetar e construir amplificadores com todos esses recursos.

Tais amplificadores em si são todos classe D, indevidamente chamados de amplificadores digitais, coisa que eles não são. A técnica por trás desses amplificadores existe desde 1958. Mas os produtos assim produzidos eram vistos com desconfiança e evitados porque seu custo era estratosférico. Na ocasião da virada do milênio os amplificadores classe D passaram a ser mais empregados porque surgiram novos circuitos integrados que aumentaram muito seu desempenho e, simultaneamente, reduziram seu custo a uma fração do que era até então.

A grande vantagem dos amplificadores classe D em relação aos demais utilizados em áudio profissional, notadamente os de classe A e AB, é a eficiência. Com efeito, nas classes A e AB há sempre transistores trabalhando no modo permanentemente ativo. O resultado é a geração de calor nos próprios transistores. Já nos amplificadores classe D os transistores operam ora no modo ativo, ora no modo em corte. No modo ativo o transistor conduz corrente e a voltagem sobre ele é muito reduzida. O que também ajuda a reduzir a potência de trabalho e o calor produzido. Já no modo em corte não há condução de corrente. A potência gerada é praticamente nula e também é quase nulo o calor gerado nesse modo.

Veja a figura 4.250.

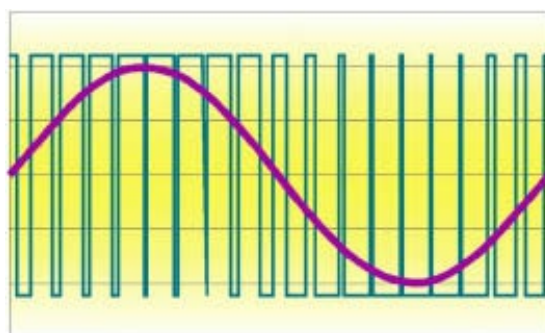


figura 4.250 técnica PWM – Pulse Code Modulation acervo engº Luiz Fernando O. Cysne O sinal representado com a cor verde é o que se chama de PWM, acrônimo para Pulse Width Modulation. Ou Modulação por Código de Pulsos. Apenas uma maneira de conferir mais duração a sinais correspondentes a intensidades mais elevadas e vice-versa. A onda sinusoidal em roxo representa o sinal na saída do amplificador que é obtida por filtragem do sinal PWM. Percebe como isso é analógico e não digital?

Como a comutação dos transistores do modo ativo para o corte e vice-versa ocorre a frequências da ordem de 380 kHz, os ruídos resultantes da operação estão tipicamente muito

acima que podemos ouvir. Mesmo assim eles ainda são filtrados.

Mas a elevada eficiência não é tudo. Com menos potência elétrica utilizada para gerar calor de forma desnecessária pode se usar transistores bem menores do que os tradicionalmente empregados em amplificadores classe A e classe AB. Os dissipadores térmicos também são comparativamente muito menores.

Com praticamente nenhum desperdício de energia, as fontes de alimentação dos amplificadores classe D também pode ser muito menores, já que elas vão produzir bem menos potência elétrica para os circuitos do que as projetadas para outras classes de amplificadores. Confere?

Junte tudo isso e comece a pensar num amplificador de qualidade excepcional, extremamente compacto, leve e muito mais barato. Por trabalhar de forma mais racional, com muito menos calor, os amplificadores classe D são atualmente muito confiáveis por natureza. O que pode ser levado às últimas consequências com projetos cuidadosos e elaborados.

Isso não quer dizer que amplificadores classe D sejam perfeitos. Ao contrário. Eles são inerentemente aparelhos vulneráveis a ruídos, o que requer projetos orientados para eliminar esses e outros pontos fracos. Entretanto, os fabricantes acreditam que as vantagens da classe D superam em larga margem suas desvantagens. A ponto de utilizarem quase que exclusivamente esses amplificadores em caixas acústicas amplificadas.



figura 4.251 amplificador PowerSoft de duas vias que usamos para energizar as caixas Line Array ElectroVoice empregadas no Gran Teatro Nacional de Lima, Peru acervo engº Luiz Fernando O. Cysne
Outro recurso que gostaria de tocar é o das fontes chaveadas. Ideia semelhante a que é empregada no estágio de saída dos amplificadores classe D. As fontes chaveadas são apelidadas de SMPS, para Switched Mode Power Supply.

Vejamos.

Essas fontes usam um regulador que converte energia elétrica com elevada eficiência.

Como outras fontes, as chaveadas transferem energia da rede elétrica para os amplificadores. Contudo, ao invés de operar como as fontes lineares, as chaveadas usam um ou mais transistores que operam no modo comutação. Ou seja, ora conduzindo ora não conduzindo, mas na maior parte do tempo estando no estado de não condução, o que minimiza o consumo de energia. A regulação da voltagem de saída é obtida facilmente mediante manejo da taxa de temporização dos estados conduz – não conduz. Ao invés disso as fontes lineares

regulam a voltagem de saída mantendo elevadas correntes elétricas nos transistores de passagem, o que significa maior consumo de energia.

Outra grande vantagem das fontes chaveadas é que elas trabalham com pouco calor e, portanto, são mais confiáveis do que as fontes lineares que operam com calor sempre muito elevado.

Portanto, as fontes chaveadas também podem ser construídas muito compactas, leves e de forma muito mais econômica do que suas contrapartes não chaveadas. Especialmente quanto aos transformadores e aos capacitores.

Mas não se iluda. A possibilidade de produção de ruídos das fontes chaveadas é uma realidade. Que é tratada com projetos específicos para minimizar esse efeito. Nos melhores projetos os ruídos são levados ao ponto da inaudibilidade incontestável.

Outras desvantagens das fontes chaveadas são a complexidade elevada da circuitação dos melhores projetos, a geração de ruídos de elevada frequência e grande amplitude, que precisam ser convenientemente filtrados por filtros bem desenhados e implementados. O que, se não for muito preciso, pode gerar grandes problemas de IEM (Interferência EletroMagnética). Ondulações de voltagem devem ser endereçadas nos projetos sérios. Ou, não só os ruídos resultantes dessas frequências, assim como harmônicos de ordem superior, podem ser facilmente convertidos em ruídos nos amplificadores.

Claro que fontes chaveadas para uso em computadores e em outros dispositivos não podem ser comparadas com as fontes chaveadas destinadas a amplificadores de alto rendimento para uso em sistemas profissionais de áudio.

4.8 SISTEMAS CONTROLADOS

4.8.1 Controlados ou Processados?

Esta é uma questão meramente semântica. Mas sem dúvida, seu conteúdo é muito técnico. De certa forma fazendo excelente combinação com a aura de mistério que envolve o assunto. As linhas seguintes foram elaboradas para desmistificá-lo. E também, para que cada um se sinta em condições de decidir por si próprio qual dos dois termos se aplica melhor a cada caso real.

Mas preciso dizer. Nos Estados Unidos, o termo “processado”, quando aplicado a esses sistemas, adquire um sentido um tanto ou quanto pejorativo. Razão pela qual o termo “controlado” passou a ser preferido, passando a exercer um fascínio mercadológico quase que irresistível.

Todos sabemos que as caixas acústicas só funcionam quando são energizadas pelos amplificadores. Nesse sentido, energizar significa aumentar ou reduzir o nível de energia

produzido pelo amplificador. E em resposta, obter maior ou menor pressão sonora em grau proporcional.

Também podemos exigir que as caixas acústicas reproduzam mais ou menos graves, médios ou agudos, em quaisquer combinações. E o que é isso se não uma forma de exercer controle? E da variedade eletrônica. Bem ao estilo do que fazemos quando giramos um **controle** de volume, ou acionamos **controles** tonais.

Podemos dizer que, no mais convencional dos sistemas de som, as caixas acústicas já são naturalmente controladas pelos aparelhos que as precedem na cadeia de áudio. Contudo, os chamados sistemas controlados realmente diferem dos sistemas convencionais. A chave para desvendar o mistério é saber exatamente em que consiste essa diferença. Colocado do modo mais simples possível, a diferença é que, nos sistemas controlados, ou processados, o grau de controle exercido sobre as caixas acústicas é muito mais amplo. E o controle adicional tem o objetivo principal de proteger melhor as caixas acústicas.

No item 4.5 discutimos vários mecanismos usados nos amplificadores, especificamente os projetados para proteger as caixas acústicas. Ao verificar que todos os amplificadores atualmente fabricados possuem formas de proteção de suas cargas, devemos concluir que os usuários finais julgam que esses recursos são úteis. Mas é inegável que eles falham muitas vezes, deixando operadores em verdadeiros becos sem saída. Também reconhecendo isso, os fabricantes estabeleceram uma tendência de produtos, que são os sistemas controlados. Ou processados.

Se definirmos processamento de sinais como a atitude proposital de alterar fases, amplitudes e respostas de frequência dos sinais mediante uso de circuitos ativos, então podemos afirmar que os processadores estão conosco desde 1930, quando os laboratórios da Bell começaram a trabalhar nesse sentido.

Durante os anos 40 e 50 os equalizadores, os compressores, os limitadores e os filtros de modo geral, foram sendo introduzidos na indústria da gravação e nos sistemas de reprodução, especialmente para uso em cinemas e teatros. No início dos anos 60 o arsenal básico dos processadores já estava devidamente organizado. Pois foi exatamente nessa ocasião que começaram a surgir os primeiros processadores projetados para trabalhar exclusivamente com alto-falantes.

No início dos anos 60 a KLH lançou no mercado um rádio de mesa e um sistema de som compacto, ambos para uso residencial, com equalização complementar incluída na circuitação do amplificador. Sua função era linearizar a extensa mas irregular resposta de frequência dos falantes de 4 polegadas tipo suspensão acústica que faziam parte do sistema.

Na mesma época, a JBL oferecia no mercado módulos “plug-in” de equalização para

inserção em seus amplificadores SE400. Havia módulos específicos para alguns falantes da linha JBL, e também módulos próprios para operar com falantes de outros fabricantes.

A JBL haveria de persistir na política de investir em sistemas controlados. E em meados da década de 60 lançou no mercado o PL-100, que era uma combinação de processador com amplificador. O aparelho podia ser equipado com uma grande variedade de módulos “plug-in”, todos dimensionados para trabalhar com os falantes mais populares da empresa.

Na parte de processamento, o PL-100 era equipado com crossover eletrônico, com equalizador e com circuitos de proteção para os falantes. Embora o produto não tivesse tido a menor repercussão comercial, aliás, contrariando as expectativas da JBL, estava lançado o estopim que aguçaria o interesse científico de empresas em geral, além de engenheiros e de projetistas de circuitos. Principalmente em razão das possibilidades que o aparelho oferecia. Sem surpresas, o PL-100 já tinha a estrutura e a configuração dos atuais controladores ou processadores.

Durante os anos 60 a biamplificação começou a se fazer presente. Inicialmente nos sistemas de monitoração de estúdios, e logo a seguir nos sistemas de reforço de som.

Um pouco mais tarde a PHILIPS holandesa lançava o “David”, um sistema residencial de duas vias, no qual o woofer operava com um recurso denominado “motional feedback”. O que era uma espécie de controle exercido eletronicamente, a partir de dados enviados pelo woofer. Visitando a Holanda nessa ocasião, tive a oportunidade de assistir a uma exibição inaugural do produto. E considerados os padrões da época, fiquei impressionado com sua qualidade. E como eu, muitos.

Alguns diziam que o “motional feedback” estava muito mais para “emotional feedback”. O que naturalmente era apenas uma brincadeira.

Nessa mesma ocasião a Bose lançava seu sistema direto/refletido equalizado, de uso residencial, empregando as caixas acústicas 901.

Nos anos 70 a KHL volta a carga, e desenvolve alguns circuitos para aplicação em seus woofers de uso residencial. O objetivo era melhorar o desempenho dos woofers montados em caixas tipo suspensão acústica. A ideia central era reforçar e estender a resposta de baixas frequências, e ao mesmo tempo, limitar a amplitude dos sinais de modo a prevenir sobrecargas.

A implementação era realmente sofisticada, com circuitos digitais monitorando os níveis dos sinais das baixas frequências. Em alguns desses produtos a limitação também levava em conta a temperatura da bobina móvel dos falantes. O sucesso comercial não tardou.

Assim, muitos dos atuais controladores, ou processadores, utilizam os mesmos princípios de “modelagem” da temperatura das bobinas móveis utilizados no passado pela KLH.

Mas a KLH não era uma empresa que participasse das atividades do segmento profissional do áudio. E organizações desse segmento se interessaram pelas ideias da KLH para aplicá-las no áudio profissional.

Entre estas, a McCune, que construiu sistemas controlados exclusivamente voltados para a locação.

Egresso da McCune, John Meyer havia aprendido muito naquela organização. Já presidente da Meyer Sound Laboratories, por volta de 1980 ele introduzia no mercado seus primeiros sistemas controlados. Como a monitora de palco UM-1, e seu controlador, o P-1, posteriormente rebatizado P-1A.

Esse produto se constituiu num marco de desenvolvimento não só para a Meyer, mas também para vários outros fabricantes.

Logo após a introdução da UM-1 veio o lançamento da UPA-1, uma caixa compacta para reforço de som, com formato trapezoidal. A UPA-1 foi rapidamente aceita pelo mercado.

Vendo o sucesso progressivo da Meyer, outras empresas procuraram trilhar o mesmo caminho. A Renkus-Heinz introduziu uma série de controladores, culminando com um sistema controlado especificamente desenvolvido para reforço de som de grandes salas para concertos. A seguir veio a ElectroVoice com os controladores Deltamax, além de uma série de caixas acústicas controladas, projetadas para concertos. Inclusive as com tecnologia Manifold.

A Apogee, cujo proprietário, Ken DeLoria, assim como John Meyer também havia aprendido bastante na McCune, seguia rapidamente seus predecessores.

Os esforços de todos esses pioneiros desembocaram na consagração da ideia e na universalização do conceito. A tal ponto que, atualmente, inúmeros fabricantes de falantes oferecem seus próprios sistemas controlados.

E a cada ano surgem mais e mais sistemas controlados. Ou processados. Embora o conceito fundamental tenha sido assimilado como um todo, cada fabricante lança no mercado versões que correspondem a suas próprias ideias de como proteger as caixas acústicas.

4.8.2 O Que Controlar? O que Processar?

Todos concordam que o ideal dos sistemas processados é possibilitar que eles sejam utilizados até seus últimos limites de potência elétrica, com um mínimo de riscos para as caixas acústicas, e ainda, sem alterações notáveis dos resultados sônicos. Quase que numa tentativa de criação de uma medalha com um só lado.

Será que alguém está querendo operar milagres? Não. Nada disso. Engana-se quem imagina que basta ligar qualquer amplificador a qualquer caixa acústica e depois aplicar um controlador ou processador para obter a garantia de que o sistema está totalmente protegido.

Para que os sistemas controlados possam surtir efeito, os amplificadores e as caixas acústicas devem estar muito bem ajustados entre si. Em harmonia quase perfeita. E além disso, é imperativo que as caixas acústicas sejam, elas próprias, muito bem dimensionadas. Só dessa maneira é possível coroar com êxito um arranjo que já seja de boa lavra.

Vimos anteriormente que os principais riscos a que estão sujeitos os alto-falantes são o colapso térmico e o colapso mecânico. Dito desta forma simplória, a coisa pode parecer elementar. Mas é tudo menos isso. Especialmente se levarmos em conta que estamos falando de sistemas operados em regimes extremos.

Cada fabricante entende de sua própria maneira o que deve ser controlado, e com que intensidade, para que o sistema seja bem sucedido.

Se analisarmos um pouco mais detalhadamente como interagem amplificadores e caixas acústicas, podemos tentar relacionar quais são os parâmetros que podem ser controlados a fim de contarmos com um sistema mais confiável:

- ganho do amplificador
- limitação de transientes e picos perigosos
- formatação dinâmica da resposta de frequência
- ajuste das frequências de transição

Investiguemos melhor cada um desses aspectos, lembrando que estamos falando de controles sofisticados, exercidos exclusivamente por meios eletrônicos.

4.8.2.1 Ganho do Amplificador Quando os amplificadores trabalham a baixos níveis de potência, não se pode dizer que um incremento qualquer de potência automaticamente produza um incremento no risco de danos a que as caixas acústicas estão submetidas. Mas certamente há um limite de potência elétrica produzida pelo amplificador, além do qual as caixas estarão mais sujeitas a riscos do que com níveis inferiores de energia.

Isso pode ser aplicável individualmente a cada falante componente de um sistema multivias, a todos eles, ou a combinações.

Seja lá como for, determinar esses limites não é simples. Porque é algo que depende de muitos fatores, como os níveis dos sinais amplificados, sua dinâmica, da presença de mais ou menos picos, dos tempos absolutos e médios dos picos e transientes, das características do amplificador, especialmente a níveis muito elevados de energia, dos parâmetros e qualidade dos falantes, e assim por diante.

Mas independente disso, reduzir o ganho dos amplificadores quando as caixas acústicas correm perigo certamente é uma das formas de controle.

4.8.2.2 Limitação de Picos e Transientes Os picos de muito curta duração e os transientes exigem deslocamentos instantâneos dos cones dos falantes e diafragmas dos drivers, que por

muitas vezes colocam esses transdutores em perigo de colapso mecânico, sujeitando ainda os materiais de que são construídos a fadigas intensas. Especialmente colas e irregularidades microscópicas.

Por outro lado, picos e transientes podem ser identificados, e reduzidos quando se entende que os falantes estão em situação de risco. O que também não é fácil, porque a situação de risco é diferente para cada modelo de falante, para não chegarmos ao extremo de dizer que essa verdade é aplicável a cada falante fabricado. Inclusive os de mesma marca e tipo.

4.8.2.3 Formatação Dinâmica da Resposta de Frequência Níveis elevados de energia concentrados nas baixas frequências exigem deslocamentos correspondentemente elevados dos cones dos woofers e dos subwoofers. Por outro lado, a obtenção de respostas de frequências relativamente planas na região de trabalho das cornetas de diretividade constante, as mais utilizadas atualmente, exige uma equalização toda própria. Caracterizada por um reforço constante em termos de dB/oitava, já a partir de uma frequência, tipicamente 5 kHz.

Desse modo, níveis elevados de energia em altas frequências são perigosos para os drivers das cornetas.

A formatação dinâmica da resposta de frequência é uma maneira de reduzir esses riscos, atenuando as frequências muito baixas e as muito altas, tanto mais quanto maior é o perigo.

4.8.2.4 Ajuste das Frequências de Transição Considera-se que subwoofers e woofers são mais robustos do que cornetas/drivers e midranges de cone. Portanto, quando os amplificadores trabalham com baixos níveis de sinal, as frequências de transição entre esses falantes podem ser mais baixas, porque os transdutores mais vulneráveis, mesmo trabalhando com frequências mais baixas, que os exigem mais, estão lidando com sinais de níveis insuficientes para lhes causar danos.

Esse quadro, verdadeiro para as condições descritas, vai se tornando cada vez mais falso à medida que os níveis de energia aumentam.

A solução parece natural. Aumentar as frequências de transição quando os falantes mais vulneráveis começam a trabalhar em regiões mais perigosas, até o ponto em que o perigo seja convenientemente controlado.

Como nos casos anteriores, ajustar as frequências de transição pode parecer fácil. Mas não é.

A razão é simples. Para que não seja uma providência meramente acadêmica, a variação da frequência de transição por vezes deve ser de meia oitava, ou mesmo mais. O que significa que os falantes devem estar preparados para isso. Devem poder responder às condições alteradas

como se elas fossem permanentes. Sem alterações de intensidade de frequências. Sem variações de fase. Sem mudanças sensíveis de respostas polares. E obter tudo isso simultaneamente é tarefa árdua para qualquer sistema de falantes.

4.8.3 Os Sistemas Controlados (ou Processados) São Perfeitos?

Não. Promover alterações nas respostas de frequência pode ser considerado como uma forma deliberada de introduzir distorções. De fato, essa é uma das maiores preocupações com os sistemas controlados. Há registros de pessoas que percebem facilmente os efeitos das alterações havidas, e os reportam como incrivelmente incômodos.

Vimos que cada sistema controlado praticamente deve ser projetado para trabalhar com uma determinada caixa acústica. E uma vez ajustado para ela, torna-se coisa fixa, que não pode ser utilizada com caixas diferentes.

Assim, o outro argumento contrário aos sistemas controlados é que eles são como um pacote sem flexibilidade. Ou com pouca flexibilidade.

Sem dúvida, uma vez ajustados para uso, os sistemas controlados atingem elevado grau de automação. A maneira como eles detectam os perigos a que estão sujeitos os falantes. Quando, como e em que grau protegê-los. E por aí vai.

E há críticas contra essa maneira programada e robotizada de controlar os sistemas de áudio. O argumento é que tudo está fora de controle humano, e exatamente nos momentos mais críticos e perigosos. E esse argumento apoia-se no fato de que o controle humano é capaz de produzir melhores resultados sônicos do que os sistemas programados.

Finalmente, junta-se a tudo isso um preço que pode ser consideravelmente superior ao dos sistemas convencionais.

De qualquer modo, os usuários dos sistemas controlados afirmam que, com eles, a economia de tempo obtida nas tarefas de alinhamento e de retoques de ajustes em campo é muito grande em comparação com os sistemas não controlados.

4.8.4 Subprodutos

Uma vez que os falantes tenham sido “eletronizados”, é relativamente fácil obter alguns subprodutos que vem a reboque dos objetivos principais. E essa questão também é tratada por cada fabricante de acordo com suas ideias. Como exemplo, pode ser citado que é absolutamente simples obter o atraso de sinais para um falante em particular, de modo a obter o melhor alinhamento de tempo para qualquer caixa acústica multivias. Restaurando ou criando a coerência de fases. Mais sobre isso no capítulo 12.

Também é simples aferir permanente os parâmetros Thiële-Small, e obter eletronicamente

resultados equivalentes a caixas acústicas com dutos sintonizados e filtros de ordens elevadas.

E a maior parte dessas funções acessórias é obtida mesmo por processamento de sinais.

4.8.5 Como são os Controladores Espero que tenha ficado claro que as caixas acústicas dos sistemas controlados são imaginadas e construídas para que operem sob a supervisão de um controlador especialmente projetado para essa finalidade. Embora os controladores sejam ligados antes dos amplificadores, ligações das saídas destes podem ser retornadas para os controladores, que desse modo podem fazer análises e correções das situações perigosas para os falantes das quais falamos, e outras, como a presença de componentes CC que possam ser eventualmente encontrados nas bobinas móveis.

Vimos que os controladores supervisionam picos e transientes, podendo atenuá-los na medida da necessidade.

Para tanto, a forma por eles utilizada é a compressão e a limitação, invariavelmente de ação muito rápida e processada de maneira dinâmica.



figura 4.252. um dos controladores encontrados no mercado cortesia BSS Audio Há controladores proprietários, que trabalham apenas com as caixas daquele particular fabricante, e outros, que podem ser ajustados para operar com determinadas caixas acústicas. Há modelos analógicos, mas os mais flexíveis são os digitais. Atualmente, em alguns destes, a troca de programas permite que o processador trabalhe com uma quantidade relativamente grande de caixas acústicas.

A figura 4.252 nos mostra um controlador muito procurado. Trata-se do FDS 366 da BSS, o omnidrive compacto, capaz de trabalhar com um sistema estéreo de 3 vias, entre muitas outras alternativas.

4.8.6 Vantagens e Desvantagens e Processamento Multibandas Há quem diga que controlar ou processar falantes é uma forma de extrair mais potência de falantes de padrão inferior de qualidade. O que geralmente não é verdade.

Até porque há inúmeros falantes controlados de qualidade superior, como todos os mencionados anteriormente. Com efeito, todos os falantes aos quais me referi anteriormente, possuem estruturas magnéticas especiais, bobinas móveis fabricadas com fios chatos, cones muito elaborados e carcaças fundidas em alumínio.

Por outro lado, os controladores exibem desvantagens nítidas. Por exemplo, quando a frequência de transição do crossover varia dinamicamente, o padrão de radiação dos falantes controlados também varia. O que, em locais fechados, pode alterar o equilíbrio entre os campos direto e reverberante, com consequências múltiplas. Inclusive sobre a inteligibilidade.

Outro fenômeno é que variações de tolerância na produção dos falantes, e dos próprios controladores, especialmente as que afetam os limiares de limitação, podem provocar efeitos sônicos perceptíveis.

Por essa razão, alguns controladores mais novos simplesmente não alteram mais os parâmetros de forma dinâmica. Ao invés disso, concentram sua inteligência na otimização da equalização fixa, e das transições estáticas de crossover, deixando as características de limitação abertas, para que a programação seja feita livremente pelo operador. Que a fará em função das características dos falantes utilizados.

Entre outros controladores, o JBL 5200, o Yamaha C-20 e o EAW MX300i, não operam com fios “sensores” provenientes dos falantes. Assim, esses produtos podem ser usados para operar com um grupo de falantes, e não apenas com falantes individuais.

A primeira maneira utilizada para aumentar o nível de pressão sonora de um sistema de falantes foi a biamplificação. Pelo simples fato de que os resultados de eventuais clipamentos ficam confinados à área de trabalho dos woofers, que são bem mais robustos do que as unidades de altas frequências.

A compressão e a limitação sempre foram meios eficazes para reduzir a gama dinâmica dos sinais. Como resultado, os falantes ficam mais protegidos.

Essa natureza de processamento é extensivamente utilizada nos controladores. Mas para proteger adequadamente os falantes, parece não haver quaisquer dúvidas de que os processadores devem responder rapidamente a condições perigosas de sinal, sem causar ruídos audíveis ou graus elevados de distorção harmônica.

Por isso, os fabricantes de controladores gastaram horas incontáveis de trabalho para determinar os tempos de ataque e de release de seus produtos. Alguns concluíram que o melhor seria trabalhar com dois ou mais estágios de processamento, cada estágio com seus próprios limiares e constantes de tempo. Como a ElectroVoice com a linha Deltamax e a Apogee com a linha PAR (Positive Amplifier Return).

Dividir o espectro de áudio em bandas e usar características próprias para cada uma delas também não é novidade. A Dolby com seu processador Dolby A e a dbx com seu dbx 3BX não me deixam mentir. E que tal a Orban com alguns processadores trabalhando com até seis bandas?

O processamento multibanda é especialmente útil quando são utilizados crossovers eletrônicos, uma vez que a limitação por bandas pode oferecer uma excelente combinação de proteção com transparência.

4.8.8 O Conceito Side Chain e Filtros Uma das técnicas que os antigos estúdios de gravação empregaram muito é a “veja antecipadamente”.

A ideia central disto é poder analisar o sinal com antecipação de uma fraçãozinha de segundo em relação ao processamento real. Desse modo, em casos de detecção de picos muito violentos e transientes perigosos ainda é possível intervir a tempo.

A técnica se baseia em atrasar os sinais em 1 ou 2 milissegundos. Enquanto o sinal sem atraso é encaminhado para monitoração e controle do processamento, o sinal atrasado é o que flui pelo processador. Assim nasceu a técnica “side chain”.

Os controladores atuais empregam técnicas semelhantes.

O uso de filtros passa baixas e passa altas, que são introduzidos apenas na presença de situações perigosas também faz parte da parafernália tecnológica dos controladores. Além disso, em alguns desses controladores as frequências de corte dos filtros são aproximadas e afastadas dinamicamente no espectro, de modo a proteger os tweeters de sobretemperatura e os woofers de excursões exageradas.

Os deslocamentos das frequências de corte dos filtros estão limitados no máximo a uma oitava. Para que possam qualificar seus controladores como aparelhos cuja resposta de frequência é realmente plana para quaisquer níveis de audição, alguns filtros trabalham exatamente de acordo com as curvas Fletcher-Munson.

Há controladores que monitoram e controlam os movimentos dos cones dos woofers através de servocontrole. Em outros sistemas, os movimentos do cone são mecanicamente bloqueados para que não possam ocorrer excursões excessivas. O bloqueio é feito na bobina, que fica impedida de ultrapassar um determinado limite de excursão.

Creio que é este é um exemplo soberbo de como o controle é uma forma de distorção. Imaginem só. De um lado, os fabricantes de falante gastam fortunas em desenvolvimento e pessoal para que seus produtos respondam tão fielmente quanto possível aos sinais de áudio. De outro, os controladores simplesmente impedem que os cones se desloquem para responder aos sinais de áudio. Os fins justificam os meios, arguem alguns.

Até poderia concordar. Mas creio que é evidente que fabricantes de falantes e de controladores assumem atitudes totalmente opostas? O que, no mínimo, parece estranho. Você não acha? Como profissionais que somos todos nós, muitas vezes somos obrigados a assumir riscos. Apenas manifestando nossas opiniões.

Há alguns meses atrás fiz um teste subjetivo de dois amplificadores importados para uma revista. Um muito caro e outro de preço médio. Gostei muito deste último. Mas não do primeiro. E como era uma revista, o teste foi publicado. Claro que o representante do produto no Brasil não concordou comigo. E numa outra edição manifestou seu desagrado. Criticando cada passo do teste que fiz. Tentei compreendê-lo. E para tanto, me coloquei em seu lugar. Creio que também não gostaria. Mas sem saber bem porquê.

Muitos meses mais tarde fui informado que o modelo que testei simplesmente não vendia mais. Com algumas pessoas que falei, uns são de opinião que a paralisação nas vendas se deveu ao que escrevi. E muitos outros acham que o produto não vendeu porquê de fato era mesmo muito caro para o que apresentava como resultado.

Bem o que importa é que tenhamos opinião. E pode anotar. Muitas vezes você será contrariado apenas porque tem e manifesta suas opiniões.

E depois dessa prosa, quero manifestar minha própria opinião sobre os sistemas controlados.

Se analisarmos um pouquinho a expressão “os fins justificam os meios”, empregada acima, veremos que o que se esconde por trás dela é algo no sentido de sugerir que aceitemos distorções, mesmo as que venham em graus elevados, porque esse é o preço a pagar para que os sistemas sejam mais confiáveis.

Creio que a solução de compromisso, apesar de estar na crista da moda, é muito pobre. Prefiro e recomendo a meus clientes que invistam mais em caixas e amplificadores, trabalhem com amplas margens, e eliminem de seus projetos as distorções. Claro que o que advogo é mais caro. Mas o que está em jogo é a qualidade. Não tenho poder de decisão sobre um projeto que executo, mas não pago. Só que como profissional, me vejo obrigado a dizer o que acredito. Mesmo se isso significar a perda do negócio. Afinal, é apenas uma questão de princípios.

Mas também entendo que a alternativa é uma das poucas que resta para algumas empresas, a exemplos das locadoras. Para elas, deixar de usar sistemas controlados pode ser o fim.

4.9 SISTEMAS DIGITALMENTE CONTROLADOS

4.9.1 Evitando Confusão Não vamos confundir as coisas. Os controles ou processamentos dos sistemas controlados ou processados que discutimos no item anterior, destinam-se tão somente a proteger os alto-falantes. Claro que com isso é possível obter alguns benefícios extras, como operar os sistemas com níveis de potência mais elevados do que seus equivalentes convencionais.

Mas neste item vamos discutir uma outra coisa, completamente diferente. Que são os sistemas digitalmente controlados.

Para caracterizarmos as diferenças, vamos entender de início que os controles dos sistemas digitalmente controlados substituem os controles operacionais como convencionalmente exercidos pelos operadores, com recursos muito poderosos de roteamento e, por vezes, de processamento de sinais. Como veremos.

Além disso, esses controles são geralmente exercidos em tempo real, via computador, o que geralmente facilita toda a operação e eventuais reconfigurações necessárias.

Entrando mais detalhadamente nesse assunto, estamos continuando o assunto que iniciamos no capítulo 1.

4.9.2 Um Modelo de Trabalho O primeiro aparelho digitalmente controlado foi oficialmente lançado no mercado há uns bons pares de anos.

Cerca de três depois me vi proferindo uma palestra no exterior, onde procurava explicar aquela nova e promissora tecnologia.

E, claro, como funcionava aquele aparelho.

Sempre declarei minha opinião sobre a forma de abordar esse assunto. Isto é, que a melhor maneira de fazê-lo é utilizando um modelo de trabalho.

Foi o que fiz naquela palestra, e pouco tempo depois dela, quando escrevi um artigo para uma revista sobre esse tema fascinante. Na ocasião, escolhi a primeira geração de produtos lançado pela TOA, uma das pioneiras mundiais no desenvolvimento, fabricação e venda de produtos digitalmente controlados.

Quando escrevi a primeira edição deste trabalho elegi como modelo o DACSys II, também da TOA. DACSys é uma abreviatura para Digital Audio Control System.

O II indicando que esta era a segunda geração de produtos digitalmente controlados disponibilizada pela empresa.

Quando fiz minha opção a linha era composta por três aparelhos, além do software que os acompanhava.

Os aparelhos eram o DP-0202, o DP-0204 e o DX-0808.

Os dois primeiros eram os processadores de sinal e o último uma matriz analógica, digitalmente controlada.

Pois bem, depois de tantos e tantos anos a linha de produtos contínua incólume. Sim, e ao invés de simplesmente ter sido substituída ou extinta, como ocorre frequentemente com uma ampla gama de produtos modernos, a linha que escolhi como modelo só aumentou. E muito.

Senão, vejamos.

Os processadores DP-0202 e DP-0204 foram combinados num só, o DP-0206. Além disso, vieram as unidades de expansão para o DP-0206, a DQ-A01 e a DQ-A02.

A primeira é um módulo expansivo com dois canais de entrada e a segunda um módulo expansivo com dois canais de saída.

O que significa que praticamente podemos formar quaisquer quantidades de entradas e de saídas.

O DX-0808 continua exatamente como foi lançado no mercado.

A exceção maior fica por conta do software que, ao longo do tempo foi atualizado,

melhorado e ajustado para a capacidade computacional e velocidade de processamento dos computadores atuais, muito superior ao de poucos anos atrás.

Mas a família cresceu.

E os novos membros da família incluem

- o DI-1616, uma poderosa interface para computador
- o M-66, disponibilizando seis canais de amplificação para microfones, mas podendo trabalhar também como um poderoso splitter ou como um roteador
- o E-232, um equalizador com dois canais de 2/3 oitavas
- o E-1231, um equalizador com um canal de 1/3 de oitava
- o D-1103, um delayer com uma entrada e três taps de saída
- o L-1102, um leveller/limitador, com um noise gate disponível para cada canal
- o LT-101, o trafo de entrada para balanceamento especial
- o LT-102, o trafo de saída para balanceamento especial

4.9.3 O Hardware

4.9.3.1 Os Processadores de Sinal Os dois primeiros processadores de sinal da linha já eram aparelhos digitais.

Todas as funções de processamento eram realizadas no domínio digital.

O uso de DSPs (Digital Signal Processing) foi uma opção inicial da TOA para que houvesse o máximo de flexibilidade para o usuário, especialmente no que se refere a mudança dos parâmetros dos processadores.

Felizmente essas características genéticas foram herdadas pelo DP-0206.

Assim, as seguintes funções de processamento digital já eram oferecidas pelo DP-0202 e pelo DP-0204, e ainda fazem parte do variado cardápio do DP-0206: Para cada uma dessas funções há uma série de parâmetros, cada qual ajustável pelo usuário. Que pode fazer isso através de um computador.

Os dois processadores originais eram exatamente iguais em tudo, exceto pela capacidade de saída. O processador DP-0202 tinha duas entradas e duas saídas, enquanto o DP-0204 tinha duas entradas e quatro saídas.

Em virtude disso as possibilidades de configuração dos dois produtos originais também eram diferentes.

Nove alternativas para o DP-0202 e mais de 80 para o DP-0204.

Essas possibilidades de configuração eram formas diferentes de arranjar o fluxo dos sinais das entradas para as saídas, e de intercalar os processadores digitais em cada caminho.

O DP-0206, que vem equipado com duas entradas e seis saídas, praticamente tem possibilidades de configuração ilimitadas.

As entradas e saídas dos dois processadores originais eram analógicas, eletronicamente balanceadas, e digitais AES/EBU (48 kHz), selecionáveis pelo usuário.

O usuário ainda podia fazer essas escolhas de acordo com as necessidades específicas de

cada caso.

Naturalmente, esse recurso está disponível no DP-0206.

Agora foi acrescentada a possibilidade de equipar as entradas e as saídas com transformadores de balanceamento em substituição ao balanceamento eletrônico.

Claro, como opcional já que transformadores são inerentemente bem mais caros do que as versões eletrônicas de entradas e saídas simétricas.

listadas a seguir

- equalização gráfica de 2/3 e de 1/3 de oitava
- equalização paramétrica de 3, 4, 7 ou 16 bandas
- atraso de sinais
- filtragem notch
- filtragem passa bandas
- reforço de baixas frequências (shelving)
- atenuação de baixas frequências (shelving)
- compressão e limitação
- emudecimento
- crossover eletrônico simétrico ou assimétrico
- filtragem passa altas
- reforço de altas frequências (shelving)
- atenuação de altas frequências (shelving)
- filtragem passa tudo
- controle de atenuação
- controle de ganho
- ruído gate
- equalização de conjuntos driver de compressão/cornetas acústicas
- reversão de polaridade
- dispêndio das respostas de frequência e de fase
- modo segurança

Cada processador original possuía 16 memórias para registros de ajustes, os quais podiam ser chamados a qualquer momento. O que foi conservado no DP-0206, mas ampliado em termos quantitativos.

Todas as configurações e ajustes também podem ser feitas por computador.

Os processadores DP-0202 e DP-0204 tinham altura de 1 unidade rack (44,45 milímetros). A mesma que o DP-0206, apesar da maior capacidade física.

4.9.3.2 A Matriz de Comutação A matriz DX-0808 é analógica, mas digitalmente controlada. São 8 entradas e 8 saídas. Qualquer entrada ou combinações de entradas podem ser encaminhadas para qualquer saída ou combinações de saídas.

As matrizes são utilizadas para facilitar o encaminhamento dos sinais de áudio (das entradas para as saídas), bem como para possibilitar sua mixagem e distribuição. Esse recurso em particular confere ao produto o nome de roteador.

Todas as entradas e saídas do DX-0808 são eletronicamente balanceadas. Também aqui é possível empregar os transformadores de balanceamento.

A matriz 8x8 foi projetada para permitir encaminhamento flexível de sinais, e para que as

facilidades e recursos do produto possam ser ajustados a quaisquer condições de campo entendidas como necessárias. Inclusive em salas divisíveis de convenções de hotéis e estúdios de gravação/produção.

Como no caso dos processadores de sinal, todas as configurações podem ser feitas por computador.

4.9.4 Modularidade dos Processadores e das Matrizes O processador DP-0202 foi originalmente imaginado para sistemas estereofônicos em aplicações de baixa demanda. Mas alguns desses casos e aplicações de demandas medianas já exigiam combinações de DP-0202 ou de DP-0204.

Entretanto, sistemas mais complexos exigiam uma boa quantidade desses processadores. Como essa condição foi inicialmente considerada como uma possibilidade real, desde o início os processadores podiam ser facilmente combinados. Isto é, podiam ser interligados para formar arranjos com maior capacidade de entradas e de saídas, e com possibilidades de configuração multiplicadas. Essa estratégia tinha por objetivo possibilitar o atendimento integral de quaisquer necessidades, independentemente de seu porte. O que era possível porque um só ou dois tipos de equipamento podiam assumir uma variedade enorme de arquiteturas.

Do mesmo modo, as matrizes também podem ser interligadas para formar conjuntos com maior capacidade de entrada e/ou saída, como por exemplo 32 entradas x 32 saídas.

Realmente, o conceito de modularidade, utilizado de forma muito inteligente pela TOA desde as primeiras etapas de concepção e desenvolvimento do DACSys é um dos pontos fortíssimos do sistema. Ainda hoje.

Graças a isso, sua versatilidade permite que ele possa ser configurado para atender necessidades diferenciadas, como as requeridas por centros de arte, arenas, estádios esportivos, anfiteatros, igrejas, aeroportos, clubes, estúdios de gravação, parques temáticos e vários outros. Que podem ser sistemas pequenos, médios, grandes e muito grandes.

O DP-0206 foi lançado por dois motivos. O primeiro é que a maioria das aplicações de mercado passou a exigir quantidades de entradas e saídas bem acima do que os dois processadores originais ofereciam de per si. O segundo motivo é que os equipamentos digitais experimentaram redução de preço em proporção semelhante à ocorrida com os computadores. Assim, a versão com duas entradas e seis saídas tornou-se uma modularidade mais consistente com as necessidades quantitativas do mercado, e também, uma alternativa mais econômica.

4.9.5 Software

O software do DACSys II não é fornecido em CDs, mas em memórias que fazem parte dos próprios aparelhos.

Assim, ao adquirir os aparelhos o soft necessário também já está sendo adquirido.

Como em muitos e muitos outros produtos, as atualizações podem ser obtidas com muita facilidade na Internet.

Para operacionalizar o soft é preciso utilizar um computador.

Que pode ser uma máquina disponível apenas eventualmente, e nesse caso, temporariamente utilizada para configurar e estabelecer os parâmetros do sistema.

Mas também pode ser um aparato permanentemente disponível e, nesse caso, algo incorporado a ele em caráter permanente.

O computador em si pode ser qualquer PC. Inclusive um simples “laptop”. Por essa razão o soft é denominado PC Control Software.

A comunicação entre o sistema DACSys e o computador é feita através de interfaces RS-232C e RS-485. Agora, para casos de exigências mais pesadas é recomendável utilizar a interface DI-1616, cujos recursos gráficos e de comunicação são extraordinários.

Para que se tenha uma ideia da capacidade do software, um só computador pode controlar até 30 matrizes DX-0808 e seus acessórios.

4.9.6 Interface Gráfico Para que o usuário possa configurar o sistema, determinar funções de processamento e definir parâmetros, é preciso que haja uma forma de comunicação com o computador. E ela é dada pela interface gráfica.

Que é intuitivo e amigável. As telas de comunicação são as que se poderia esperar de um controle digital desenvolvido para operar na plataforma Windows.

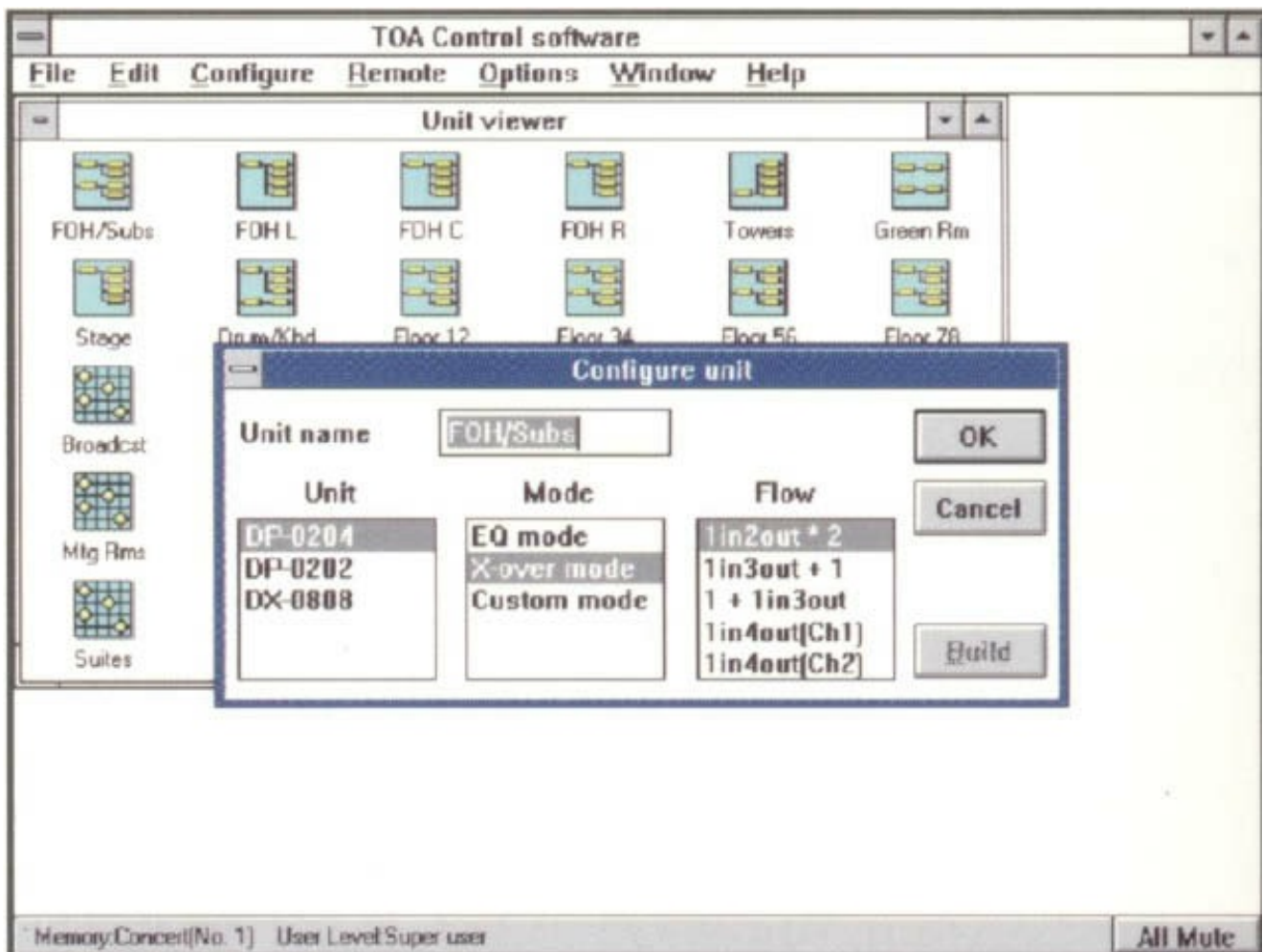


figura 4.253 tela de configuração do sistema DACSys II da TOA acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
A figura 4.253 mostra a tela de configuração do sistema, através da qual se pode estabelecer o roteamento de cada particular sistema e alocar todo o processamento de sinal desejado a cada caminho de áudio.

O que se faz através de diagramas de bloco de apoio.

A figura 4.254 ilustra um desdobramento da tela de configuração.

Com ela é possível selecionar os fluxos de sinais através de todo o sistema, e visualizar os recursos de processamento disponíveis e alocados para cada caminho determinado.

É importante frisar que todas as funções de processamento podem ser utilizadas simultaneamente. Com telas semelhantes é possível ajustar níveis, corrigir polaridades, ajustar parâmetros de compressão, de limitação e de gating, modificar atrasos, transições de crossovers, e assim por diante.

Seria demasiado longo entrarmos nos detalhes de todos esses ajustes.

Mas para termos uma noção do que é o sistema, vejamos como podem ser ajustados os parâmetros do compressor.

Os limiares de compressão podem ser ajustados de + 24,0 dB a - 16,0 dB, em passos de 1,0 dB. As taxas de compressão podem ser selecionadas entre as seguintes opções: 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 8:1, 12:1, 20:1 e ∞ :1.

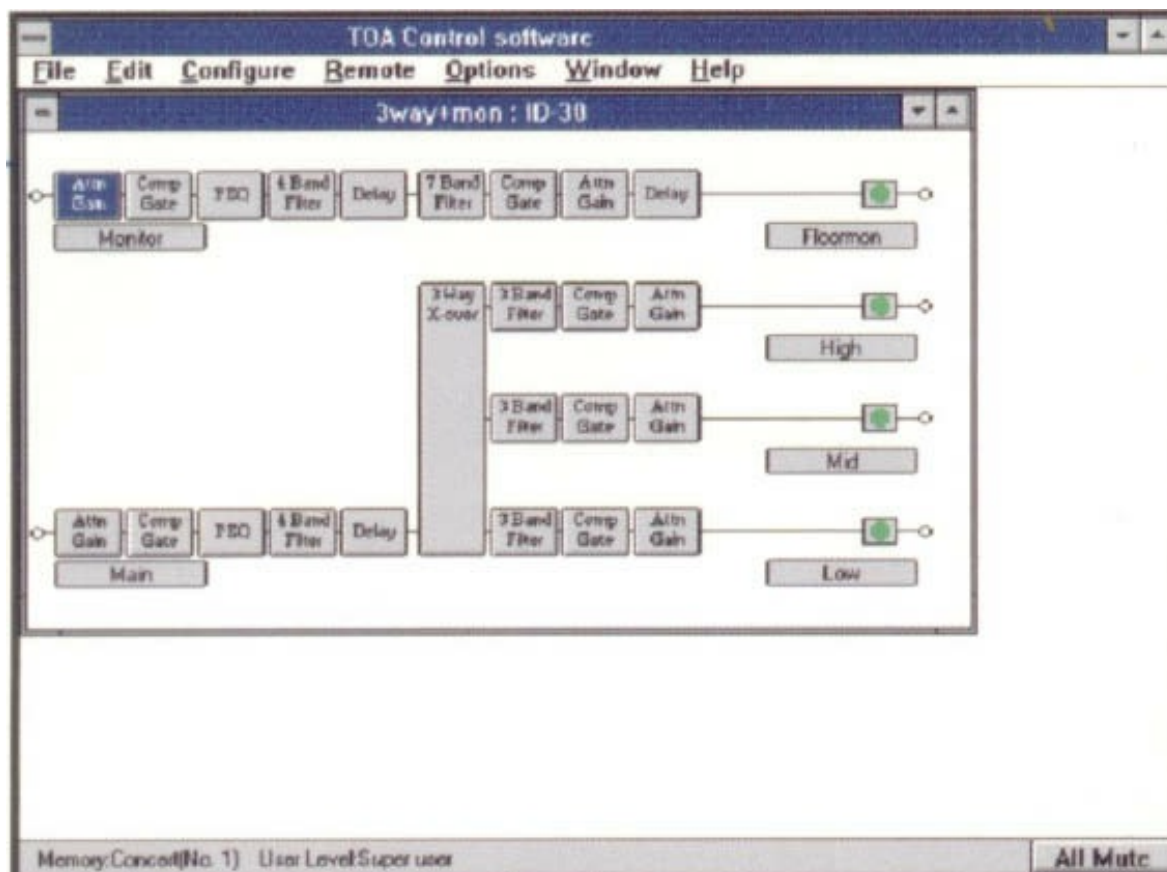


figura 4.254 tela de configuração detalhada do sistema DACSys II da TOA acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

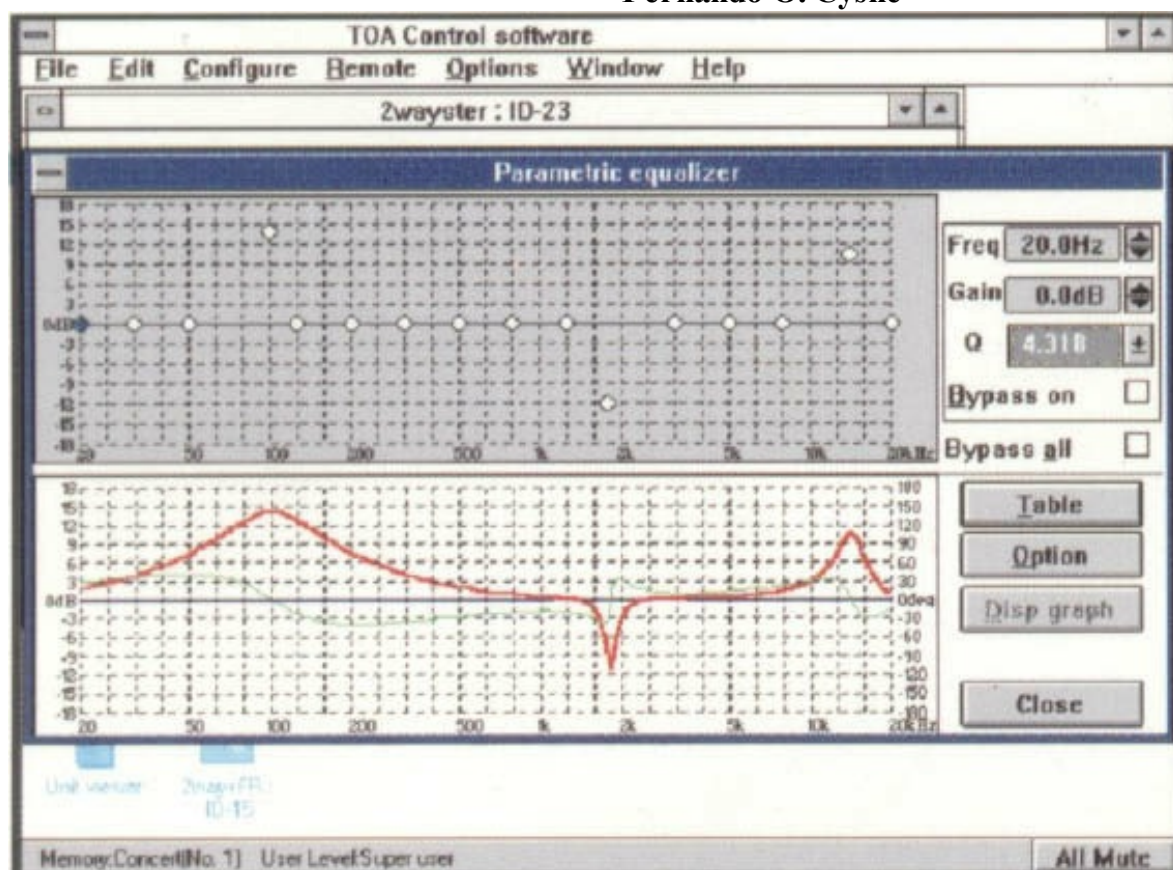


figura 4.255 ferramenta do sistema para ajuste de equalização acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

Os tempos de ataque podem ser variados continuamente entre 20 microssegundos e 100 milissegundos. Os tempos de release, também de variação contínua, são ajustáveis entre 10 milissegundos e 5,0 segundos.

A equalização é feita por método semelhante.

Como mostra a figura 4.255.

No caso da figura, o equalizador selecionado é o de 1/3 de oitavas.

Os controles são ajustados através do “mouse”, e a tela mostra as posições dos ajustes, e as curvas de resposta de frequência e de resposta de fase resultantes.

Se você não gosta dos resultados, basta alterar novamente os controles. E isso pode ser feito com o sistema operando, de sorte que é possível ouvir e medir os resultados de cada simples e pequena alteração em tempo real.

Esse mesmo esquema também é aplicável a todos os demais ajustes de filtragens.

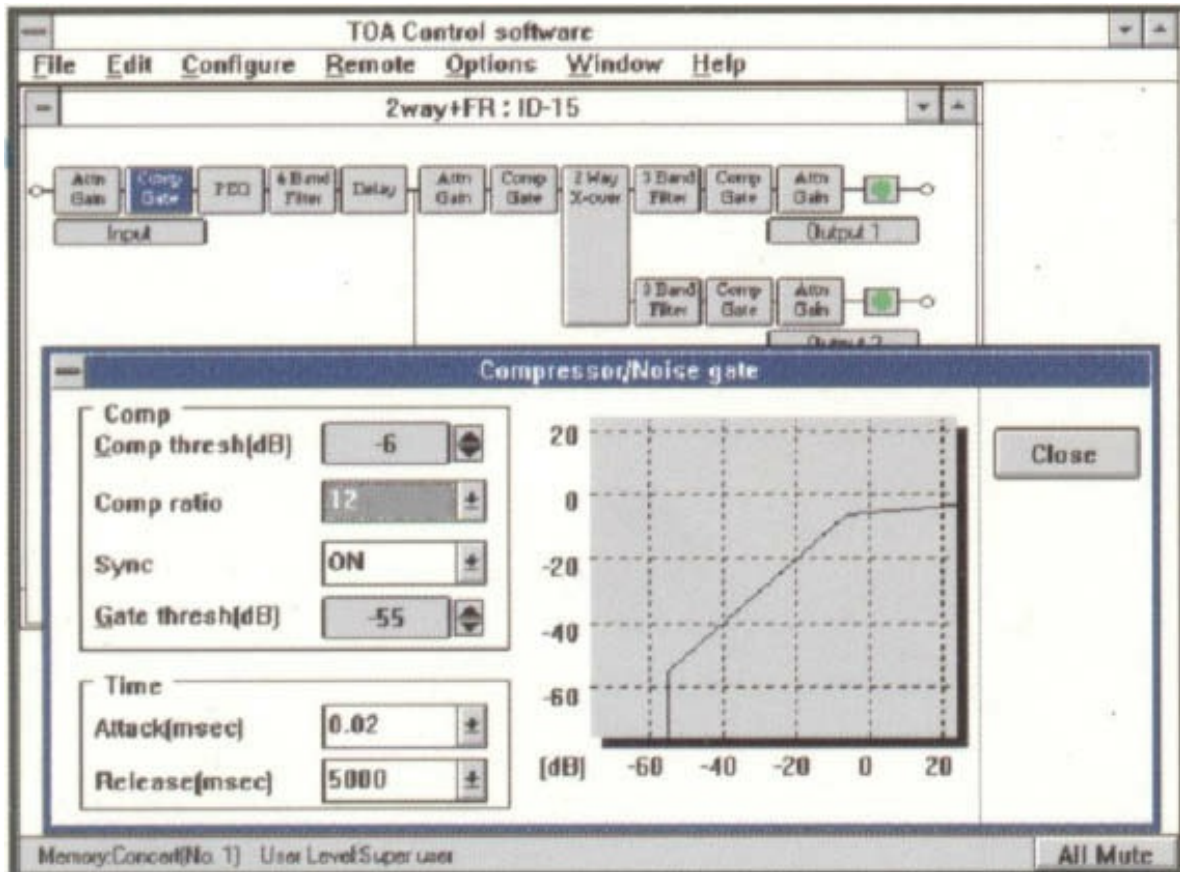


figura 4.256 ferramenta do sistema para ajuste de compressão e de noise gating acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

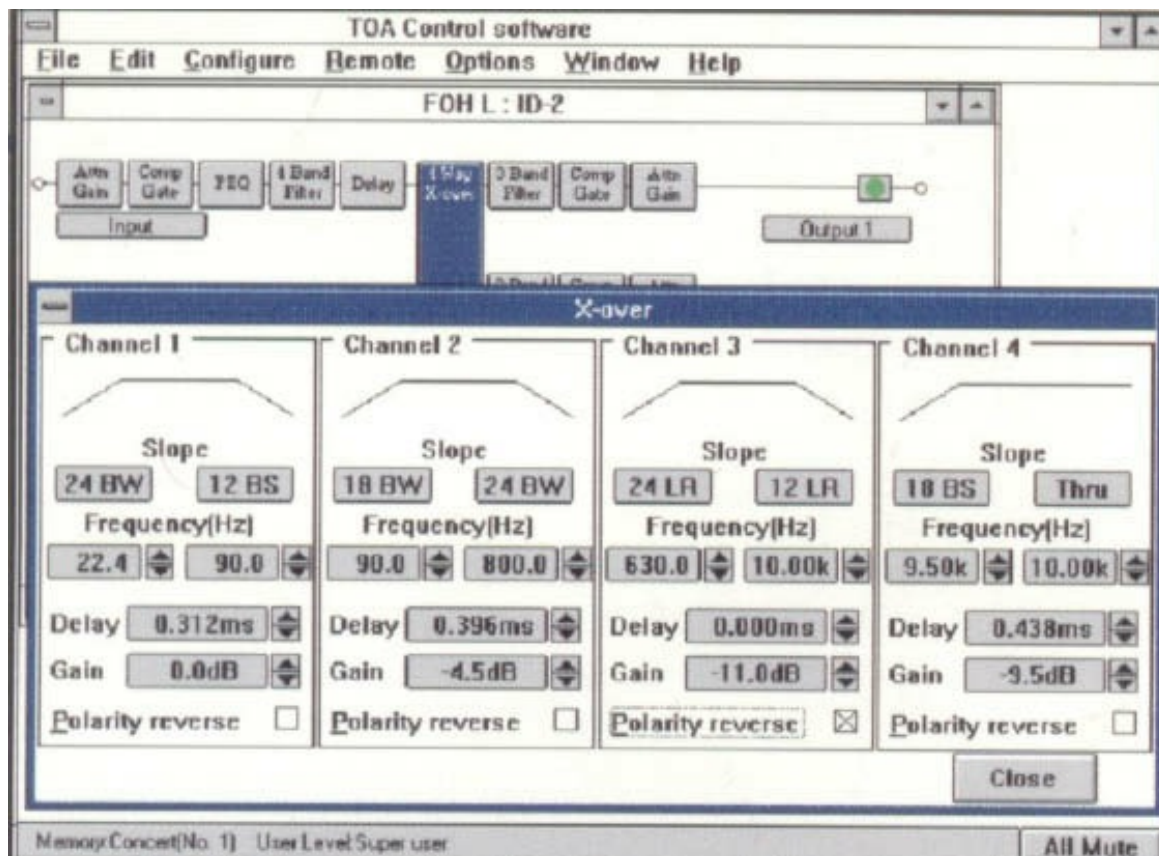


figura 4.257 ferramenta do sistema para ajuste de sistemas multivias ou que requeiram filtragem passa bandas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.256 mostra a ferramenta que o sistema nos oferece para os ajustes de compressão e de noise gate. Novamente você ajusta e ouve em tempo real o resultado de suas atitudes. Claro, também pode medi-las. O displêi gráfico facilita os ajustes dos limiares, das taxas de compressão, dos tempos de ataque e de release, e também permite a sincronização das entradas para compressão estereofônica. Facilitando de quebra os ajustes dos noise gates.

A tela da figura 4.257 é utilizada para ajustes de sistemas multivias, ou dos que precisam de filtragem passa bandas.

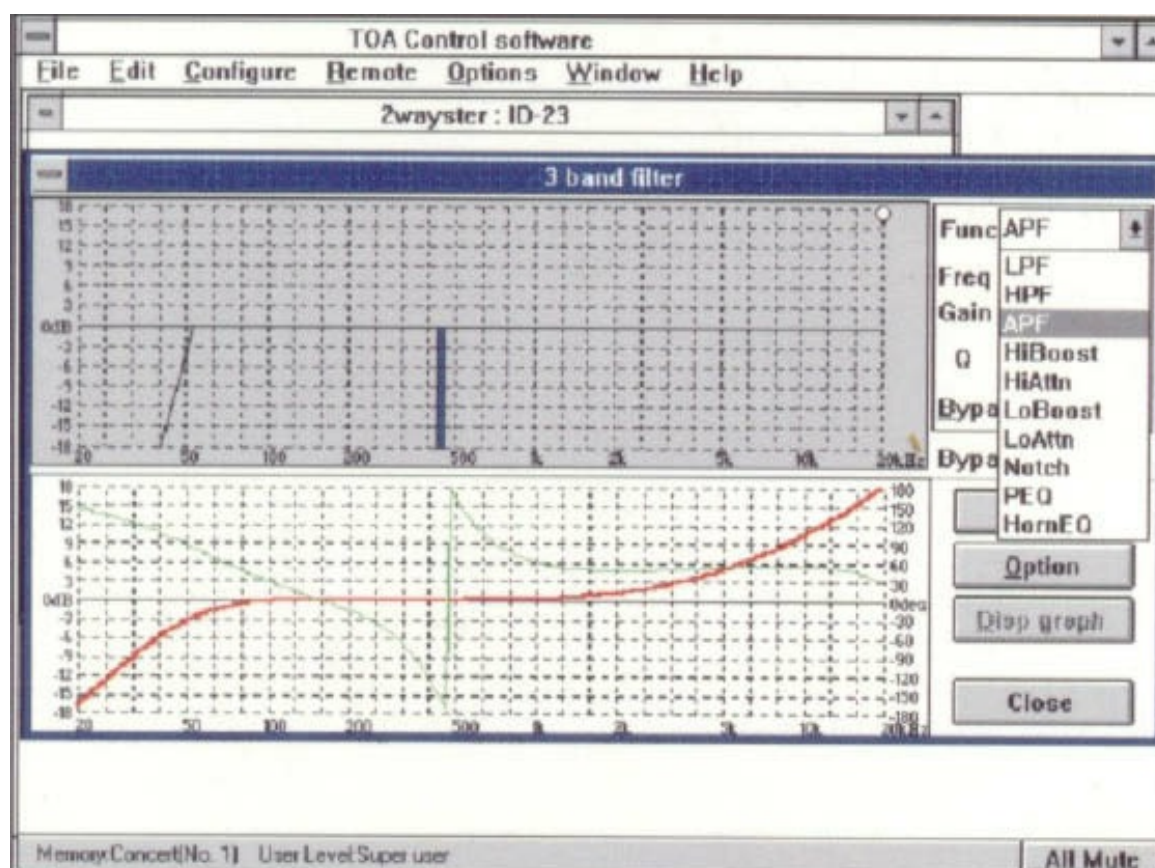


Figura 4.258 ferramenta do sistema para acerto de fases e equalização complementar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como se vê na figura, é possível ajustar as frequências de corte de cada filtro, estabelecer as várias taxas de atenuação, entre as quais as mais utilizadas são 6, 12, 18 e 24 dB/oitava, os atrasos, os ganhos e as polaridades de cada um. É aqui que se podem fazer os ajustes para que os filtros dos crossovers operem de forma simétrica ou assimétrica.

A figura 4.258 ilustra a utilização de um dos filtros passa tudo, para que se obtenha o correto desempenho de fase nas frequências de transição entre os filtros.

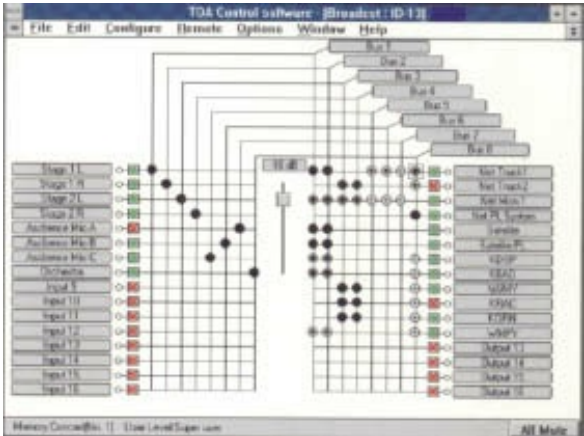


Figura 4.259 tela de programação das matrizes DX-0808 do sistema DACSys II da TOA acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É nessa tela que se opta pelo uso de equalização para os conjuntos driver de compressão/corneta acústica, dos filtros passa baixas, dos passa altas e de diversas outras funções de filtragem.

Enquanto os ajustes são feitos, o displêi gráfico vai mostrando as curvas de resposta de frequência e de resposta de fase.

A figura 4.259 é o recurso gráfico através do qual se pode programar as matrizes, alocando entradas e saídas, definindo caminhos, distribuindo sinais e assim por diante.

4.9.7 Outros Recursos Penso que, ainda que superficialmente, vimos o principal de nosso modelo de trabalho. Entretanto, gostaria de concluir mencionando três recursos do sistema que me parecem importantes:

- controle remoto
- função “lock” com proteção por “password”
- números indicadores de ajustes de memória para posterior recuperação

4.9.8 A Antiga Geração e a Geração Intermediária Se você já tem uma certa intimidade com a informática, dominar completamente a operação de um sistema digitalmente controlado será tarefa elementar e rápida.

Se você ainda não teve muita oportunidade de lidar com os computadores, a missão não será difícil, mas com certeza, levará mais tempo do que no caso anterior.

De uma ou de outra forma, quando já se opera com alguma desenvoltura um sistema digitalmente controlado, em comparação com os sistemas analógicos, suas vantagens práticas tornam-se mais do que evidentes. Ainda melhor do que isso, fica claro que não há desvantagens nem contrapartidas, ou quaisquer outros efeitos colaterais.

Encarando-se essa questão pela ótica de sistema, também só encontraremos vantagens.

Senão, vejamos. Os sistemas digitalmente controlados são mais simples, muito mais flexíveis, e os recursos agora são praticamente ilimitados. Para tanto, são utilizados menos equipamentos, com menor quantidade de interligações físicas e menos problemas que resultam diretamente delas, além de menor espaço físico útil ocupado. Ah, sim... Tudo com isso obtido com menor investimento !!!

Claro que esse quadro não foi pintado de um dia para outro. Embora o processo tenha iniciado e terminado num espaço de tempo bem curto, foi ele o resultado de um desenvolvimento evolutivo. E na medida em que as coisas caminhavam, numa primeira etapa, foi despertado o interesse sagaz de alguns fabricantes. A seguir, esse interesse, algo mais do que um fenômeno simplesmente intuitivo, se transformou num enorme estímulo para o desenvolvimento de novos produtos. Por sinal, muito em linha com as necessidades de um novo mercado que estava criado.

E assim, nascia uma nova geração de equipamentos. Concebida sob a mesma filosofia de sistema e arcabouço tecnológico digital que acabamos de discutir. Portanto, no que pese o início muito inteligente e a extrema capacidade de renovação da TOA, o DACSys é um produto da antiga geração. Como é o DR128 que vamos discutir na sequência.

4.9.8.1 O DR128

Esse é um dos mais autênticos representantes da antiga geração de produtos digitais.

O aparelho foi descontinuado recentemente pela Allen Heath. Mas não vamos discuti-lo aqui por meras razões históricas. Inicialmente, porque há uma versão com menor capacidade deste aparelho, o DR66, que ainda é fabricado e comercializado pela empresa.

Mas, principalmente, porque a abordagem de um produto como o DR128 gera recursos didáticos de grande valia para a compreensão da geração digital. Ora, esse último argumento sozinho já seria o suficiente para me fazer decidir pela manutenção do produto no prelo por uns bons anos.

O DR128 era essencialmente um mixer com 8 entradas balanceadas para microfones e 4 entradas de dois canais, para fontes de programa.

Portanto, totalizava 12 entradas e 8 saídas.

Cifras que inspiraram o nome de batismo da fera. Como mostra a figura 4.260, o painel frontal do DR128 era bastante sóbrio e desprovido de acessórios desnecessários e com finalidades “mercadológicas”.



figura 4.260 o DR128 da Allen Heath cortesia Allen Heath e Libor Sob essa simplória pele de cordeiro escondia-se uma impressionante multitudine de recursos, e também, uma flexibilidade ímpar. Inicialmente, o mixer não era da variedade convencional, mas do gênero matricial. O que significa que era possível alocar qualquer entrada, ou combinação de entradas, a qualquer saída, ou combinação delas. Em sua configuração básica o DR128 era fornecido com dois engenhos DSP, ambos muito poderosos. Isso já era apropriado para a maioria das instalações de pequeno e médio porte, onde não houvesse grandes exigências de processamento. Mas a partir disso era possível incrementar a capacidade do produto com mais engenhos DSP.

O DR128 oferecia as seguintes funções de processamento digital:

- equalização gráfica de 7, 15 e 31 bandas, a escolher
- equalização paramétrica de 2, 4 ou 6 bandas, a escolher
- atraso de sinais de até 682ms com resolução de 0,1 ms
- filtragem notch
- filtragem passa bandas
- reforço de baixas frequências (shelving)
- atenuação de baixas frequências (shelving)
- compressão
- limitação
- emudecimento
- crossover eletrônico simétrico ou assimétrico
- filtragem passa altas
- reforço de altas frequências (shelving)
- atenuação de altas frequências (shelving)
- filtragem passa tudo
- controle de atenuação
- controle de ganho
- noise gate
- equalização de conjuntos driver de compressão/cornetas acústicas
- reversão de polaridade
- displêi das respostas de frequência e de fase
- modo segurança
- ducker
- programação de eventos

Todos esses recursos eram implementados no domínio digital. Assim, seus parâmetros podiam ser facilmente ajustados, e cada um dos processadores disponíveis podia ser facilmente alocado à qualquer entrada ou saída.

Havia dois modos principais de se lidar com o DR128. O modo mais fácil é configurá-lo e operá-lo através de um PC. Para tanto, o aparelho dispõe de uma interface RS232. Interligados DR128 e microcomputador, rodava-se um aplicativo proprietário denominado WinDR.

De início, o programa se encarregava de fazer as perguntas sobre cada aparelho ligado ao DR128, a fim de que fossem estabelecidas as configurações de sistema desejadas. A exemplo de como se queria estabelecer as configurações matriciais e ajustados os controles de ganho de cada entrada e de atenuação de cada saída.

Sempre com a ajuda de um medidor de sinal presente em tempo real. Isso mesmo. Era um para cada entrada e um para cada saída.

A seguir, eram determinadas as funções do sistema como um todo. É nessa etapa que os processadores eram alocados às saídas e entradas, e estabelecidos seus parâmetros operacionais.

As típicas telas de trabalho são formadas por “palettes”, como nos mostra a figura 4.261.

Numa terceira etapa, podemos configurar recursos como o “ducker”, estabelecer senhas de acesso (para maior segurança operacional), habilitar a função operação remota, se desejada, designar chaves no painel frontal, e por aí vai.

Vejamos esse caso particular da designação das chaves com um pouquinho mais de detalhes.

É possível escolher uma tecla no painel frontal, e designá-la exclusivamente para uma particular função que entendemos será utilizada com mais frequência.

A seguir, fazemos o mesmo com a segunda chave, prosseguindo do mesmo modo com todas as demais teclas. De sorte que acabamos podendo controlar todas as principais funções desejadas diretamente do painel frontal. Logo, sem necessidade de empregar o microcomputador.

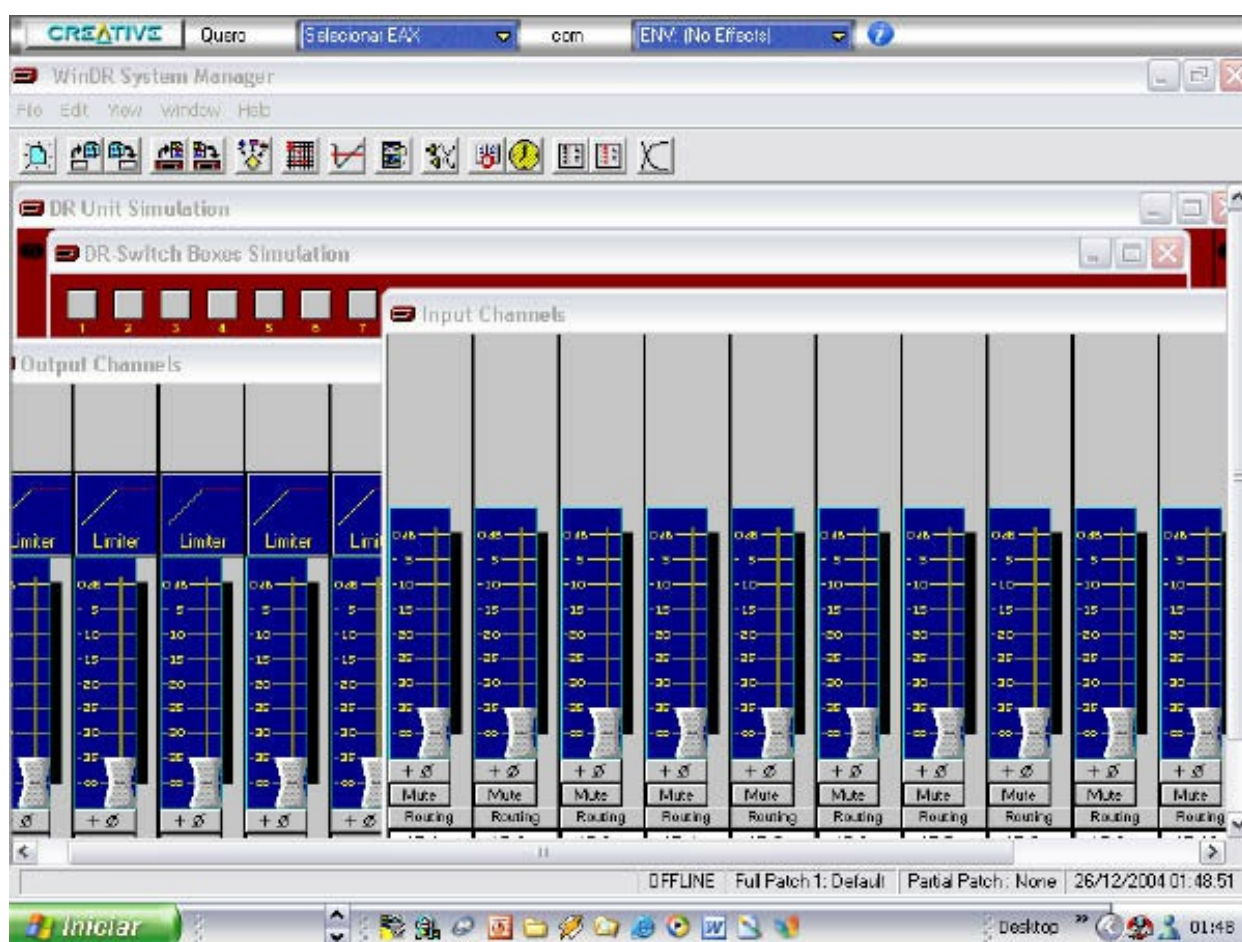


**figura 4.261 palettes de configuração do DR128
c Allen Heath**

Bem, esse é o segundo modo de operação do DR128.

Isso é, sem qualquer ajuda do PC.

É possível salvar nas diferentes memórias do aparelho várias configurações distintas de sistema. Que assim, podem ser chamadas a qualquer momento.

O DR128 foi projetado para operar em bares modernos, incluindo-se karaokê, sistemas de difusão de música funcional, especialmente os com setorização, espaços modulares de conferências, hotéis, centros de convenção, igrejas, parques temáticos, estádios esportivos,

salas de aula remotas, Côrtes Judiciais, sistemas de endereçamento público já instalados e subsistemas de monitoração de palco.



figura 4.262 tela de matriciação dos canais de entrada do DR128
cortesia Allen Heath Para melhor compreender o DR128, vamos simular a configuração de um desses aparelhos, imediatamente após sua instalação física. Veja a figura 4.262.

Essa tela é a tela de matriciação do aparelho, através da qual definimos que entradas serão ligadas a que saídas e com que níveis.

Observe na parte superior da figura o termo “I/P 1”. O que significa que o canal de entrada selecionado é o canal 1.

Isto feito, definimos nos faders numerados OUT 1 a OUT 8 o quanto da entrada 1 seguirá para cada uma das oito saídas e com que níveis.

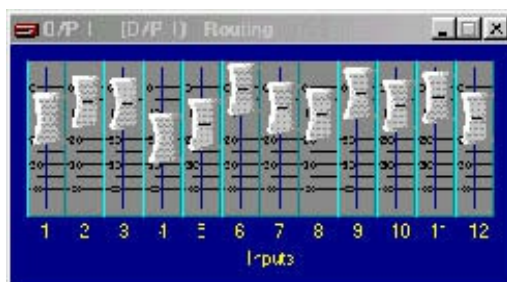


figura 4.263 tela de matriciação geral do DR128 – canais de saída cortesia Allen Heath Repetindo-se essa mesma mecânica para cada canal de entrada definem-se os destinos finais de cada um dos 12 canais de entrada.

Ao final desse processo pode-se lançar mão da tela da figura 4.263 para saber quais são os níveis dos diversos canais de entrada alocados a um determinado canal de saída. No caso da figura, o canal de saída selecionado é o 1 (O/P 1).

Vale mencionar que até este momento só falamos em proporções de entrada alocadas às saídas e não em níveis de entrada e de saída propriamente ditos.

Os níveis de entrada e de saída podem ser ajustados através de faders virtuais, como os representados na figura 4.264. Embora essa figura mostre apenas dois faders virtuais, todos os canais de entrada e todos os canais de saída do DR128 são ajustados individualmente com seus próprios faders.

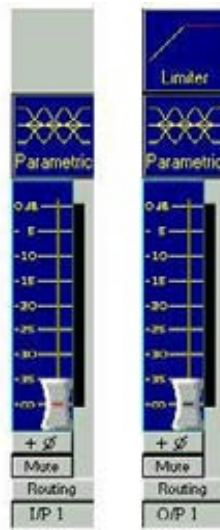


figura 4.264 faders virtuais de entrada (esquerda) e de saída (direita) cortesia Allen Heath Repare que à direita dos faders virtuais há uma faixa vertical negra.

Quando há sinal essa faixa mostra o nível como se fosse um medidor real VI com seus segmentos de leds.

Na parte inferior do fader de entrada há a inscrição I/P 1 e no de saída a inscrição é O/P 1. Essas inscrições podem ser substituídas pelo nome desejado pelo usuário.

Acima das inscrições há uma janelinha denominada routing. Ao clicar nela o usuário chama as telas das figuras 4.262 e 4.263.

Acima das janelas routing estão as janelinhas de fase. Essas janelinhas servem para manter ou inverter as fases de cada entrada ou saída.

O movimento dos faders se faz arrastando o knob enquanto se monitora o sinal na faixa vertical, como falamos acima.

Nas partes superiores aparecem informações de processamento, como veremos na sequência.

Como vimos, a capacidade de processamento do DR128 depende da quantidade de engenhos DSP instalados e disponíveis. Ao invés de oferecer processadores individuais, o fabricante optou por oferecer algumas combinações diferentes de processadores dinâmicos. Chamando a estas combinações de palhetas de recursos.

Assim, e pensando em termos de DR128, devemos entender palhetas de recursos como coleções de processadores dinâmicos em diferentes combinações.

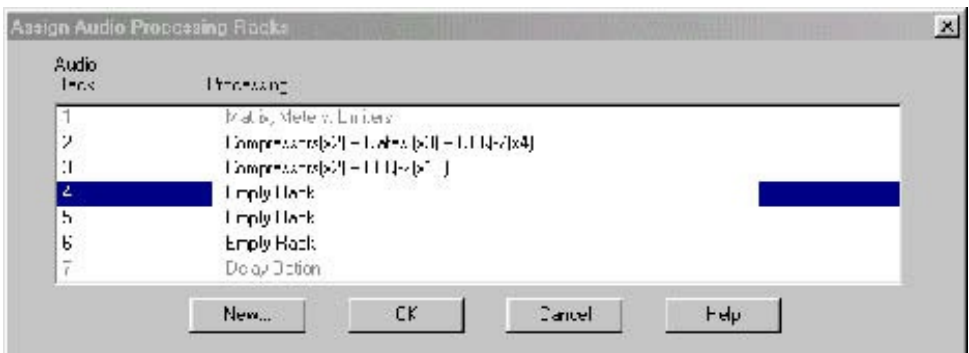


figura 4.265 caixa de diálogo relacionando palhetas com engenhos DSP cortesia Allen Heath A caixa de diálogo da figura 4.265 possui duas colunas.

A da direita informa todos os engenhos DSP disponíveis, e a da esquerda onde foram alocadas as palhetas.

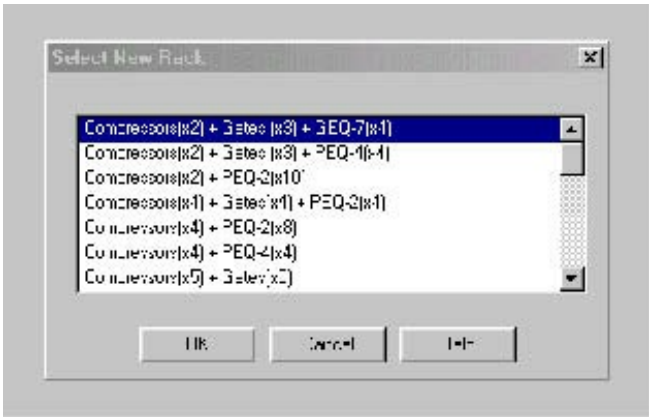


figura 4.266 caixa de diálogo para seleção de palhetas de recursos cortesia Allen Heath A caixa de diálogo da figura 4.266 nos possibilita escolher novas palhetas e alterar aquelas já alocadas aos DSPs existentes.

Podemos variar nossas opções de palhetas à vontade, escolhendo sempre as que nos tragam a combinação mais adequada de processadores para a aplicação em questão.



figura 4.267 caixa de ferramentas dos recursos cortesia Allen Heath A parte superior da figura 4.267 mostra botões de ação rápida, que podem ser acionados para alocar recursos aos canais de entrada e de saída sem perda de tempo.

A parte inferior da mesma figura mostra da esquerda para a direita os símbolos de equalizador de 3 bandas, de 4 bandas, de 6 bandas, de equalizador gráfico de 7 bandas, de 15 bandas, de 31 bandas, de compressor e de noise gate. E associa a cada um deles a quantidade ainda disponível. No caso, as quantidades são 9, 4, 0, 7, 0, 0, 11 e 15. Os símbolos com quantidade disponível zero são apresentados escurecidos. Isso possibilita que a cada momento o usuário tenha uma ideia clara da quantidade de recursos ainda disponível e, também, o que já foi utilizado.

Outra coisa que essa forma de informar possibilita ao usuário é ter uma noção muito clara e precisa de quanto cada recurso utilizado “consume” da capacidade de processamento dos engenhos DSP, que são partes caras do produto.

Imagine agora que um dos recursos solicitados foi o delayer. Assim que isso é feito, é preciso alocar ou não os delayers a cada uma das saídas, e justar os correspondentes valores.



figura 4.268 tela para ajuste de delayer cortesia Allen Heath Esse ajuste é feito através da janela representada na figura 4.268. O usuário escolhe na parte superior direita da figura se o atraso será estabelecido em milissegundos, em metros ou em pés. E a seguir, ou aciona cada botão nos sentidos horários ou anti-horários, ou digita diretamente na pequena janela branca abaixo do botão de cada canal de saída.

Quando se escolhe um equalizador gráfico, usamos uma tela como a da figura 4.269.

Para dar sequência aos ajustes basta escolher a banda desejada e mover o fader virtual para reforçar ou atenuar na medida escolhida, e assim prosseguir até que se tenha trabalhado com todas as bandas desejadas.

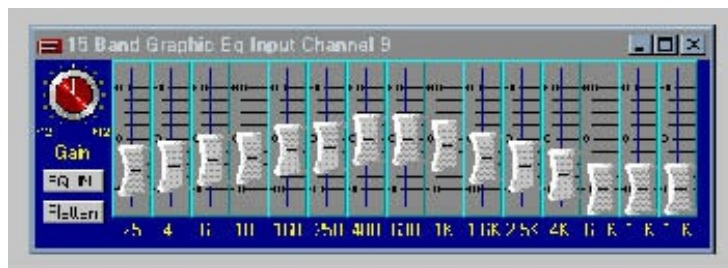


figura 4.269 ferramenta do sistema para ajuste de equalização gráfica cortesia Allen Heath A figura mostra a tecla EQ IN, que permite acionar ou inibir esse processador.

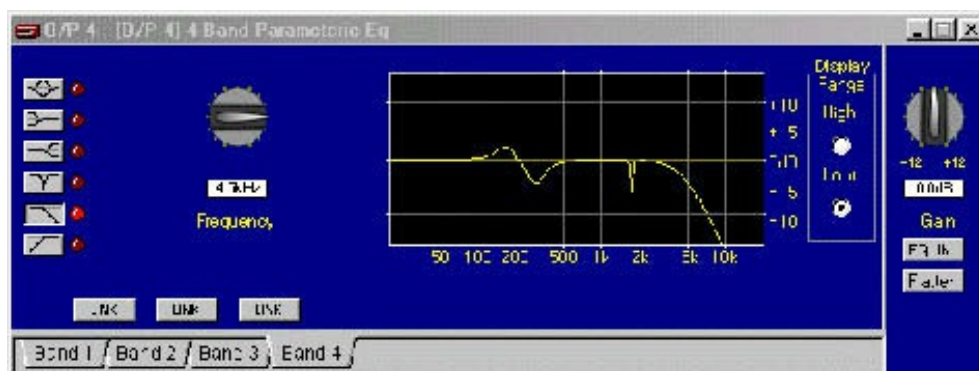


figura 4.270 ferramenta do sistema para ajuste de equalização paramétrica cortesia Allen Heath

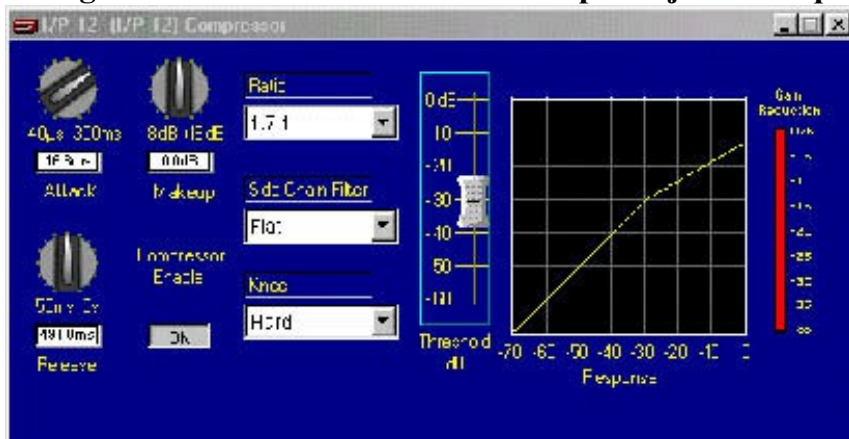


figura 4.271 ferramenta do sistema para ajuste de compressão cortesia Allen Heath A tela da figura 4.270 é a ferramenta que nos permite ajustar a equalização paramétrica, no caso de 4 bandas.

A banda selecionada para o ajuste é a banda 4.

O filtro escolhido foi um shelving que só atenua. Mas poderia ser qualquer um dos seis disponíveis e indicados na parte esquerda da tela.

A frequência é estabelecida no knob esquerdo, porquanto o grau de atenuação, e de reforço quando for o caso, ajustado no knob direito.

O resultado da ação combinada dos filtros vai sendo exibida em tempo real na subtela negra graticulada.

A figura 4.271 ilustra a ferramenta para ajuste de compressão.

Os parâmetros ajustáveis são o limiar (threshold), a taxa de compressão (ratio), o ataque, o release e o joelho.

Este processador possibilita o uso de filtragem de cadeia lateral, com várias opções de filtros.

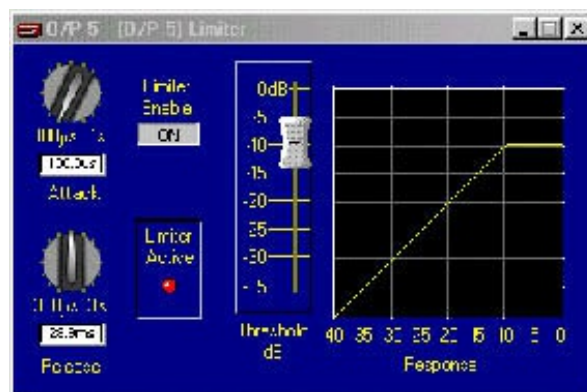


figura 4.272 ferramenta do sistema para ajuste da limitação cortesia Allen Heath Creio que depois de tudo o que discutimos a respeito de limitadores, a simples observação cuidadosa dos elementos da tela da figura 4.272 será o suficiente para dar ao leitor uma ideia bastante completa do potencial deste recurso.

A figura 4.273 mostra a telinha correspondente ao noise gate.

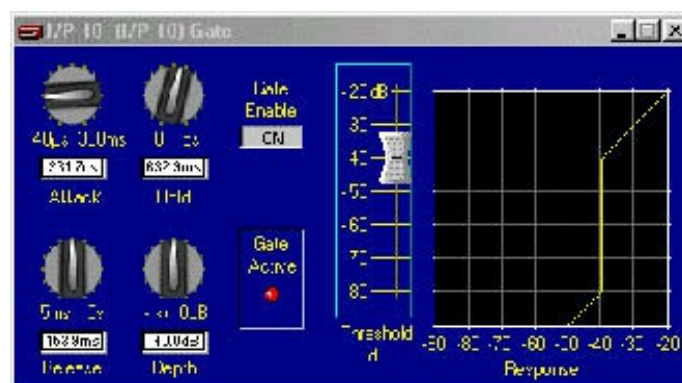


figura 4.273 ferramenta do sistema para ajuste de noise gating cortesia Allen Heath Vemos que os parâmetros a ajustar são o limiar (threshold), a profundidade, o ataque, o release e o hold.

Como em todos os demais casos, a representação gráfica de saída versus entrada é apresentada em tempo real à medida em que os controles vão sendo alterados.

Também aqui é possível habilitar ou inibir o noise gate, condição essa indicada no led abaixo da inscrição “gate active”.

A parte superior da figura mostra a que entrada ou saída está alocado o noise gate que se

ajusta.

A figura 4.274 mostra a tela que possibilita ajustar os parâmetros diretamente relacionados com o efeito ducker para as entradas ou saídas selecionadas. A parte inferior da tela mostra a entrada, microfone ou linha, selecionada.

Finalmente, a figura 4.275 exibe a tela de eventos programados. Ou seja, essa tela é utilizada para nos permitir programar eventos com antecedência.



figura 4.274 ferramenta do sistema para ajuste do efeito ducker cortesia Allen Heath Assim, por exemplo, podemos programar a troca temporária de cenários.

Recursos como esse automatizam muito o uso do aparelho, facilitando bastante os serviços para o operador.

É certo que essa forma de automação tem tomado conta dos equipamentos de áudio de alma digital, principalmente para facilitar as tarefas de operação dos sistemas como um todo.

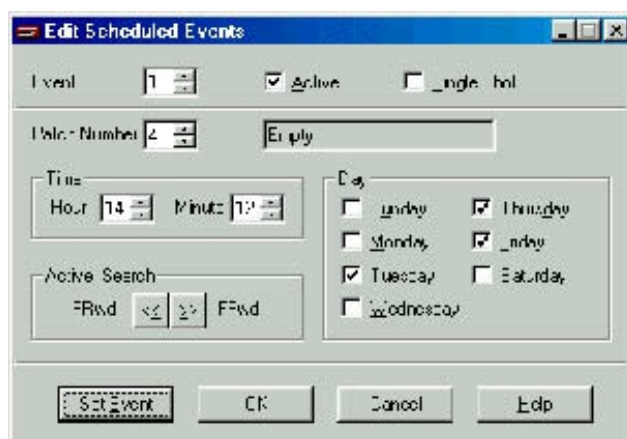


figura 4.275 tela do DR128 para mostrar dados dos eventos programados cortesia Allen Heath Naturalmente, há diversos outros recursos que o aparelho oferece, mas cuja análise detalhada se tornaria demasiadamente longa mesmo para um trabalho desta envergadura.

Mas o que realmente fascinou no passado foi a velocidade com que introduzimos recursos no DR128, e com que as alterávamos.

A operação frontal do aparelho através de seu painel frontal era não só tediosa, como fazia a velocidade cair de forma assustadora.

A operação com o computador era muito fácil através de telas como as que acabamos de ver.

Convém observar que praticamente tudo o que acabamos de discutir prevalece para o

DR66, aparelho da Allen Heath ainda na ativa.

4.9.8.2 O Mixer Digital O3D



figura 4.276 o mixer O3D da Yamaha cortesia Yamaha Corporation O mixer O3D da Yamaha, ilustrado na figura 4.276, é outro representante da velha guarda de produtos digitais. Desde seu lançamento ele já oferecia automação total e muitos dos recursos próprios dos equipamentos digitais, como vimos anteriormente.

Poderíamos ter discutido a O3D juntamente com os mixers. Mas optei por deixá-lo para este momento, já que assim podemos ter uma visão melhor dos equipamentos digitais de gerações passadas.

Como mixer que é, o O3D tem limites de capacidade. Por exemplo, suas entradas e saídas estão limitadas a 26 e 10, respectivamente.

As 26 entradas incluem 8 entradas digitais. As primeiras 8 entradas analógicas são providas através de conectores XLR de 3 pinos, e jaques PAM. Com alimentação fantasma individualmente alocável. As duas primeiras destas possuem recurso insert.

As 10 saídas se dividem em 4 busses de saídas e 6 mandadas auxiliares, todas analógicas. Além destas, há 8 saídas digitais, providas através de um “slot” proprietário.

As entradas e saídas digitais podem ser configuradas como busses, como mandadas auxiliares, como entradas de canal ou como saídas estéreo.

as vantagens de sempre dos digitais Por ser um aparelho digital, o O3D permite alocar equalizadores paramétricos de 4 bandas a virtualmente todas as entradas e saídas. As bandas inferiores e superiores dos equalizadores podem ser configuradas como filtros shelving, peak/dip ou passa altas e passa baixas, respectivamente.

A livreria EQ já inclui uma série de programas úteis, e espaço para cerca de 40 programas configuráveis pelo usuário. Que, naturalmente, podem ser armazenados em memórias. Esses programas e todos os seus parâmetros podem ser controlados em tempo real via MIDI.

O O3D possui 2 processadores de efeito, capazes de oferecer uma miríade de efeitos. Como no caso anterior, há vários programas já existentes para eles, além de espaço para 32 novos, que o usuário pode configurar a seu gosto e critério, e a seguir, armazenar.

Quanto aos processadores dinâmicos, o O3D possui 40 deles, incluindo-se aí compressores, expansores, noise gates e ducking, todos com seus parâmetros facilmente

ajustáveis.

automação e sincronismo

A automação total do mixer O3D é denominada automix.

Até 50 cenários de mixagem podem ser simultaneamente memorizados, totalizando cerca de 2.000 parâmetros. Desse modo, cada cenário pode incluir literalmente todos os parâmetros configurados para uma dada aplicação. E posteriormente, cada cenário pode ser chamado instantaneamente.

É possível chamar cada cenário manualmente, ou via MIDI. Ou ainda, usando um dos recursos para tanto previstos no automix.

A mudança de um para outro cenário também pode ser feita com crossfade. Isto é, enquanto o cenário vigente é gradualmente extinto, o novo cenário é gradualmente admitido.

As livrarias podem ser utilizadas para gravação de ajustes de canais, de equalizadores, de efeitos, e de processadores dinâmicos.

interface

O interfaceamento do O3D é realmente muito simples. As operações são todas intuitivas e lógicas. Para assisti-las, o usuário conta com um displêi fluorescente de 320 x 240 dots. Cheio de ícones gráficos que representam os controles, e indicam os ajustes feitos, inclusive com curvas, onde aplicável.

Qualquer mouse compatível com PC pode ser usado com o O3D, permitindo a fácil navegação pela máquina, e ajuste e edição de parâmetros em geral.

Parâmetros tipo off/on são acionados por um simples clique de mouse, e os controles rotativos e lineares podem ser arrastados.

Todos os faders são motorizados, e quando acionados manualmente, exibem seu fascinante grau de sensibilidade.

4.9.9 A Nova Geração Por conta de todos os impostos e gravames aplicáveis a itens importados, bem como resultado de nível de câmbio considerado muito elevado, os preços dos equipamentos importados no Brasil, como são praticamente todos os digitalmente controlados, tende a ser cruel para nós, pobres usuários.

Apesar disso, as gerações foram se sucedendo e confirmando uma tendência inexorável de permanência. Em razão disso, com a passar do tempo os usuários foram se acostumando mais e mais aos equipamentos digitalmente controlados. E o uso constante e prolongado os fez perceber aos poucos o grandioso elenco das vantagens intrínsecas desses produtos. Essa habilidade crescente foi estabelecendo confiança e hábitos de especificações para projetistas, novos critérios de uso para operadores, segurança para empresários e um sentimento

generalizado de modernidade.

4.9.9.1 A Linha Symnet da Symetrix A figura 4.277 mostra o jeito simplório do Symnet Audio Matrix 8x8 DSP da Symetrix.



figura 4.277 o Symnet da Symetrix cortesia Symetrix

Como se pode ver, não há quaisquer controles, knobs nem nada que o usuário possa manipular de uma ou de outra forma no painel frontal do aparelho. À esquerda fica a tomada DB9 para a conexão de controle externo do aparelho. Para conveniência do usuário, há outra dessas tomadas no painel traseiro. A coluna isolada de três leds, à direita da tomada DB9, informa, de cima para baixo, as condições de alimentação, de comunicação da porta serial e a atividade ou não do SymLink, discutido logo adiante. As oito colunas centrais de leds referem-se aos canais. De cima para baixo as informações são de clip (led vermelho), de presença de sinal na entrada (led amarelo) e de presença de sinal na saída (led verde). Parece pouco, mas o uso mostra exatamente o contrário.

Bem, esse aparelho também é uma matriz com 8 entradas x 8 saídas. Parece que essa modularidade aos poucos vai se tornando o padrão dessa classe de equipamentos.

Além de ser uma matriz de áudio, o Symnet inclui um poderosíssimo DSP, constituído por quatro chips DSP Sharc. Essa é base que possibilita a disponibilização de uma enorme relação de recursos. O melhor é que cada um deles pode ser detalhadamente configurado para atender às mais extravagantes exigências que qualquer usuário ouse imaginar.



figura 4.278 instalação que fizemos no teatro da FIESP, Avenida Paulista, São Paulo, enfatizando arranjo de quatro Symnet DSP 8x8

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Entretanto, para os padrões atuais, 8 entradas e 8 saídas pode ser com frequência uma capacidade modesta para muitas aplicações. Atenta a esse fato a Symetrix projetou o aparelho de forma que fosse fácil combinar uma grande quantidade de aparelhos para formar grupos com capacidades muito elevadas.

A figura 4.278 mostra a foto de uma de nossas instalações, onde se vê um rack com um analisador de espectro de tempo real Klark Teknik na parte superior e, imediatamente abaixo

dele, um arranjo de quatro Symnet DSP 8x8. Nesse caso, um dos cenários gravados constitui uma matriz de áudio com 32 entradas x 24 saídas.

O painel traseiro do aparelho do aparelho está representado no desenho da figura 4.279.



figura 4.279 o painel traseiro do Symnet 8x8 DSP

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na parte esquerda está a tomada para a ligação do cabo de energia. À direita dela está o jaque para a porta serial, na parte superior e, abaixo deste, duas tomadas RJ 45 categoria 5, destinadas à interligação dos aparelhos para a formação de grupos. À direita desse bloquinho está uma DIP switch que possibilita a programação da taxa de bauds, a configuração master/slave, indispensável quando se trabalha com combinações de aparelhos, o endereço digital de cada unidade, o uso do firmware, etc.

Na parte maior do painel, à direita, nota-se um conjunto de 8 conectores Euroblock com 12 contatos cada um. Cada três contatos servem para tratar um sinal balanceado de entrada ou de saída. Assim, cada conector comporta até quatro sinais balanceados de entrada ou de saída.

Os sinais analógicos dos canais de entrada devem ser ligados na coluna de dois conectores da direita. Os sinais analógicos dos correspondentes canais de saída estão presentes na segunda coluna de dois conectores, contados da direita para a esquerda.

Na terceira coluna de dois conectores da direita para a esquerda estão as entradas para controle analógico. São todas de alta impedância e referenciadas aos sinais CC de 10 volts. Portanto, elas podem ser utilizadas para uma grande variedade de aplicações, a exemplo da ligação de potenciômetros. Recomendo valores em torno de 10 K Ω , e dispositivos de ação linear.

A coluna de dois conectores da esquerda está reservada para as saídas binárias. O conector superior oferece até seis saídas em coletor aberto, com sinais de coletor e de terra. O conector inferior oferece cinco contatos secos providos por relés. O SymLink é o nome de batismo de um anel de comunicação digital com 64 canais de áudio e barramento de dados de controle, usando cabos de interligação STP (shielded twisted pair) categoria.

Isto posto, devemos enfatizar que o caro nesse tipo de produto é exatamente sua capacidade de processamento. Mais especificamente, o DSP. A Symetrix imaginou uma fórmula capaz de aumentar a capacidade de entradas e de saídas do sistema sem que o usuário tivesse que pagar por mais capacidade de processamento, sem ter a necessidade dela.

O truque foi disponibilizar produtos com entradas e saídas extra e menos inteligência.

Os dois produtos que praticamente não dispõem de nenhuma capacidade de processamento,

mas apenas de interligação e de formação de sistemas, são o Breakin 12 e o Breakout 12. O primeiro é praticamente um aparelho equipado com 12 entradas e nenhum recurso adicional, porquanto o segundo é um aparelho equipado com 12 saídas e mais nada. O uso de um ou de outro, ou de ambos, em combinação com o 8x8 DSP, pode ampliar consideravelmente a capacidade do sistema com aumento de preço apenas marginal.

Num patamar intermediário estão o 8in DSP e o 8out DSP, que possuem mais inteligência que os Breaks mas menos que o 8x8 DSP. O primeiro tem 8 entradas e o segundo 8 saídas.

A configuração de que aparelhos serão combinados para formar um sistema vai depender essencialmente da demanda de processamento do sistema como um todo e do orçamento disponível.

Além disso, a família dispõe do CobraLink, que aumenta consideravelmente a intenção e a extensão de projeto do sistema Symnet. O aparelho possibilita a comunicação de áudio e de dados de controle através de grandes distâncias, além de incrementar muito o interfaceamento com outros anéis SymLink, e mesmo com outros padrões CobraNet adotados pela indústria.

Outro membro notável dessa família é o DigIO 12x12 DSP. Trata-se do coração do processamento Symnet, com entradas e saídas que possibilitam as interligações digitais com o sistema Symnet. Há muitos outros, mas vimos os relevantes.

Vamos agora à estafante tarefa de listar os recursos de processamento de sinais do Symnet 8x8 DSP, que são: mixers and matrixes mono mixers 2 in 4 in 8 in

16 in

stereo mixers

2 in 4 in 8 in

16 in

LCR mixers

2 in 4 in 8 in

16 in matrixes

8x4

8x8

8x16

8x24

16x4

16x8

16x16

24x4

24x8

24x16

24x24

32x4

32x8

32x16

32x24

48x4

48x8

48x16

64x4

64x8

outras possibilidades ganhos mono stereo 4 channel 8 channel

16 channel floating point

inverters 1 in 2 in 4 in 8 in

16 in VCAs

1 in 2 in 4 in 8 in

16 in automixers

master automixers 4 in 8 in

16 in
slave automixers
4 in 8 in

16 in combiners

automixer combiners 2 room combiner 4 room combiner 6 room combiner 8 room
combiner 10 room combiner 12 room combiner 14 room combiner

16 room combiner

standard combiners

2 room combiner 4 room combiner 6 room combiner 8 room combiner 10 room combiner 12 room combiner 14 room combiner

16 room combiner

filters and eqs

mono crossovers 2 way 3 way

4 way
mono sub

stereo crossovers 2 way 3 way

4 way

mono parametric

1 band 2 band 3 band 4 band 6 band

8 band

stereo parametric

1 band 2 band 3 band 4 band 6 band

8 band

mono filters

hipass 12 dB/octave hipass 24 dB/octave hishelf lowpass 12dB/octave lowpass 24 dB/octave lowshelf hipass 6dB/octave lowpass 6dB/octave allpass 1st order allpass 2nd order CD horn small speaker EQ

stereo filters hipass 12 dB/octave hipass 24 dB/octave hishelf lowpass 12dB/octave lowpass 24 dB/octave lowshelf hipass 6dB/octave lowpass 6dB/octave allpass 1st order allpass 2nd order CD horn small speaker EQ

programmable mono highpass lowpass bandpass programmable stereo highpass lowpass bandpass graphic eqs 10 bands 15 bands

31 bands

stereo graphic eqs

10 bands 15 bands

31 bands

mono feedback fighters

8 bands 16 bands 24 bands 8 notches 16 notches

24 notches

stereo feedback fighters

8 bands 16 bands 24 bands 8 notches 16 notches

24 notches

dynamics

compressor/limiter mono stereo mono split stereo split AGC

mono stereo expander/gate mono expander stereo expander mono gate stereo gate

duckers mono stereo SPL computers mono stereo delays mono 0-2 ms 0-340 ms 0-2

s stereo 0-2 ms 0-340 ms 0-2 s routers mono input select 2 in 4 in 8 in

16 in
stereo input select
2 in 4 in 8 in

16 in

mono output select

2 out 4 out 8 out

16 out

stereo output select

2 out 4 out 8 out

16 out

mono distributor

2 out 4 out 8 out

16 out

stereo distributor

2 out 4 out 8 out

16 out

switches

SPST

DPST

4PST

8PST

16PST

SPDT

DPDT

4PDT

8PDT

16PDT

signal generators noise generators pink noise white noise tone generators sine sawtooth
square triangle meters and analizers meters 1 channel 2 channel 4 channel 8 channel

12 channel gauges

1 channel 2 channel 4 channel 8 channel

12 channel oscilloscopes

1 input 2 input

4 input

control modules

control inputs 1 button latch 2 button latch 4 button latch 8 button latch 1 button
momentary 2 button momentary 4 button momentary 8 button momentary 1 fader 2
fader 4 fader

8 fader

RS-232/485 input

control process inverter threshold detector range detector scaler linear to log taper
linear to áudio taper linear to custom taper log to linear taper ramp processor
comparator control logic 2 input logic 4 input logic

8 input logic

delay logic

counter flip-flop 2 to 4 binary decoder 3 to 8 binary decoder 4 to 16 binary decoder
2 to 1 multiplexer 4 to 1 multiplexer 8 to 1 multiplexer 16 to 1 multiplexer

4 bit binary encoder

control accessories

1 control meter 2 control meter 4 control meter

8 control meter

preset trigger

audio level detector audio peak detector control outputs relay #1

relay #2

relay #3

OC output #1

OC output #2

OC output #3

OC output #4

OC output #5

OC output #6

RS-232/485 output supermodules blank SymLink bus sends and returns (ring #1)

new settings control screen view blank preset recall button preset #1

preset #2

-

-

preset #1000

external devices microphones speaker processor amplifier switch laptop PC

DI guitar keyboard phone CD/tape switch hub (4 ports) switch hub (8 ports) ARC

ARC-PS

control-I/O

picture text Antes de prosseguir creio que devemos abordar rapidamente alguns dos termos encontrados acima e utilizados pela Symetrix ao se referir aos recursos de seu próprio equipamento.

VCA

O termo VCA foi discutido anteriormente, quando falamos sobre mixers.

Mas convém mencionar que, vez por outra, no jargão digital o termo VCA é substituído por outro, equivalente, como DCA, anacronismo para Digitally Controlled Amplifier.

CD horn

O termo CD horn, utilizado para dar nome a uma pré equalização específica, também é uma das formas de compensar as perdas que caracterizam as cornetas de modo geral, inclusive as de Diretividade Constante. Daí o termo CD horn, para Constant Directivity horn, ou corneta de Diretividade Constante.

A perda antes mencionada é de aproximadamente 6,0 dB/oitava e aplica-se sobretudo a partir dos 3 kHz.

AGC

O termo AGC é um anacronismo para Automatic Gain Control, ou Controle Automático de Ganho. Trata-se de um circuito que é utilizado em inúmeras aplicações. Imagine uma estação de metrô.

O ruído de fundo no interior do prédio aumenta aproximadamente na mesma proporção que o aumento da presença de pessoas. Imagine também que quando o ruído de fundo é mais ameno, o som amplificado é bem inteligível. Mas ele vai se tornando progressivamente menos inteligível à medida que o ruído de fundo aumenta, até um ponto onde passa a ser totalmente ininteligível.

Será que há como compensar essa queda de inteligibilidade? Sim, uma das formas de fazê-lo é monitorando o ruído de fundo em vários pontos com microfones sensores. Lembra-se de como funcionavam os VCAs? Pois bem, imagine que o áudio a ser amplificado seja a entrada do VCA. E que o resultado combinado dos microfones sensores da estação do metrô seja retificado e empregado como voltagem CC de controle do VCA. Nesses termos, quando o ruído de fundo aumentar, também aumentará o nível na saída do VCA.

E quando o nível de ruído diminuir o nível na saída do VCA também diminuirá. Ou seja, esse arranjo estará funcionando como um AGC.

Outra aplicação muito comum de AGC é a disponível em algumas máquinas de gravar. O circuito lá está para comprimir os sinais e evitar que sinais acústicos muito intensos saturem os circuitos de gravação. E que os sinais acústicos muito débeis ainda sejam captados acima do nível de ruído elétrico da máquina. Parece familiar? E é. Trata-se de uma forma rudimentar de compressor.

roteadores (routers) Os roteadores ou routers são discutidos adiante, ainda neste capítulo.

distribuidores (distributors) Distribuidores, ou amplificadores distribuidores de áudio.

Imagine que você queira ligar a saída de um determinado crossover eletrônico, por exemplo a saída da via de baixas frequências, a quinze amplificadores. De sorte que será preciso alimentar em paralelo as trinta entradas dos trinta canais dos quinze amplificadores.

Ao fazer isso, e supondo que os amplificadores sejam todos iguais, estamos reduzindo em trinta vezes a impedância da carga, como vista pela saída do crossover. O que significa que essa saída precisará produzir corrente elétrica para os trinta canais de amplificação.

Tipicamente, a impedância de carga de um amplificador é da ordem de 10 K Ω . Mas se ligarmos trinta destas em paralelo, acabaremos com apenas 333 Ω . Carga muito reduzida para uma saída convencional.

Feitas as ligações desse modo, a possibilidade de ocorrer danos na saída transforma-se numa probabilidade.

Para tornar o sistema mais confiável, é recomendável utilizar um amplificador distribuidor entre a saída do crossover e as entradas dos amplificadores. No caso, um distribuidor com uma entrada e trinta ou mais saídas.

Essas saídas devem ser isoladas entre si e cada uma delas deve “enxergar” a carga original do canal de amplificações, em nosso exemplo os 10 K Ω . Utilizar os amplificadores distribuidores é uma técnica profissional destinada a garantir a confiabilidade do sistema no que diz respeito à operar as saídas das fontes de modo muito seguro.



figura 4.280 amplificador distribuidor DA6, com 1 entrada e 6 saídas estéreo, ou 1 entrada e 12 saídas mono cortesia Drawmer

chaves (switches)

A Symetrix e tantos outros fabricantes usam termos como SPDT, DPDT, *etc.*

A figura 4.281 mostra uma chave típica. Como se percebe, ela é dupla já que possui duas seções exatamente iguais.

Os terminais P1 e P2 são chamados polos.

O nome foi dado porque, se passar corrente pela chave, ela passará necessariamente pelos polos. Esses polos podem estar ligados ou com A ou com B.

No caso da figura, a ligação está estabelecida com A. Se quisermos ligar os polos com B, precisamos mover fisicamente a alavanca da chave, como fazemos com um interruptor comum de luz. Eis porque esta é uma chave de duas posições: A e B.

Toda e qualquer chave é definida por duas características. A quantidade de polos e a quantidade de posições.

Foi adotada uma convenção para identificar essas quantidades. Primeiro, informa-se a quantidade de polos e depois a quantidade de posições. Então, uma chave com a da figura, com dois polos e duas posições é chamada DPDP (Duplo Polo e Dupla Posição). Ou DPDT em inglês, para Double Pole Double Throw. Se tivéssemos um só polo e duas posições, a chave seria UPDP, para Único Polo e Dupla Posição. Em inglês seria SPDT para Single Pole and Double Throw. E assim por diante. Essa convenção é integralmente aplicável aos relés.

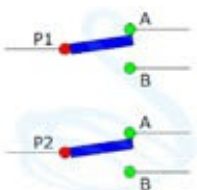


figura 4.281 chave seletora típica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Agora deve ficar bastante fácil identificar os demais termos utilizados pela Symetrix e pelos fabricantes que usam a

nomenclatura padrão. Lembrando que as chaves podem ser implementadas tanto no domínio analógico quanto no digital.

latch

Quando aplicável a uma chave ou relé, o termo latch em inglês significa que se os contatos foram fechados, eles assim permanecerão até segunda ordem. O mesmo ocorrendo caso eles tenham sido abertos. Como num interruptor de luz.

momentary

Esse termo é o inverso do anterior. Em português, chamamos isso de contatos momentâneos. Uma chave cujos contatos tenham sido abertos ou fechados, só permanecerão dessa maneira porquanto a chave estiver sendo fisicamente acionada. Quando o operador deixa de acionar a chave, seus contatos voltam à posição original. Que podem ser NA, para Normalmente Abertos, ou NF, para Normalmente Fechados.

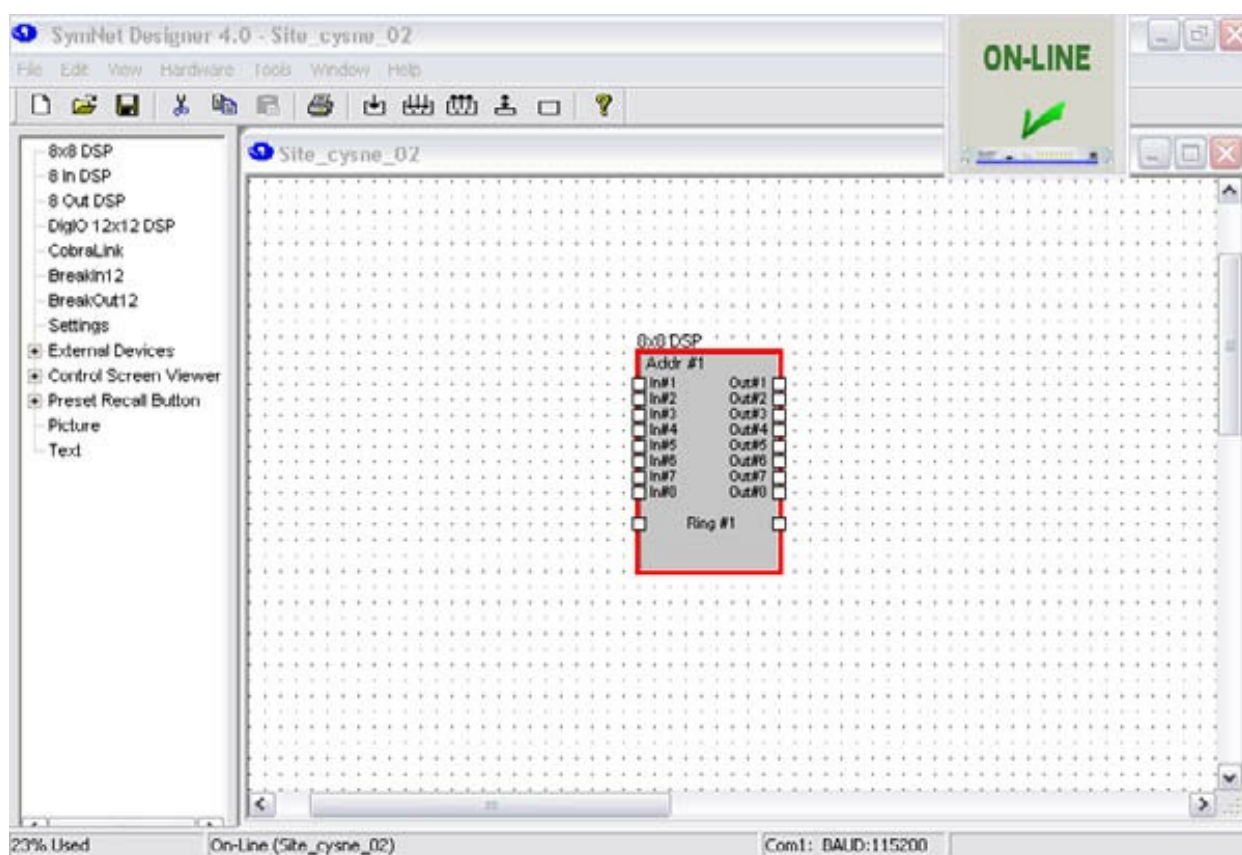


figura 4.282 tela de abertura do Symnet Designer cortesia Symetrix

E agora vamos voltar ao Symnet e ver como podemos transferir para ele a parte que nos interessa do universo de recursos disponíveis. A primeira coisa que temos a fazer é instalar no computador o programa Symnet Designer. Como obter o programa? Ele pode ser descido diretamente do site da Symetrix, em sua mais recente versão. Uma vez instalado o programa basta rodá-lo. Depois de ter feito isso, o monitor exibira uma tela como a da figura 4.282, mas sem o retângulo com bordas vermelhas no centro da área quadriculada.

Veja que na coluna à esquerda da tela você tem uma relação de recursos. Se você for clicando sucessivamente nos recursos, chegará à uma relação mais completa do o que vimos há

pouco. Se clicar no primeiro item, o 8x8DSP, então aparecerá na tela o retângulo com bordas vermelhas, representando as oito entradas e oito saídas da matriz. Para “expandir” esse retângulo clique diretamente nele.

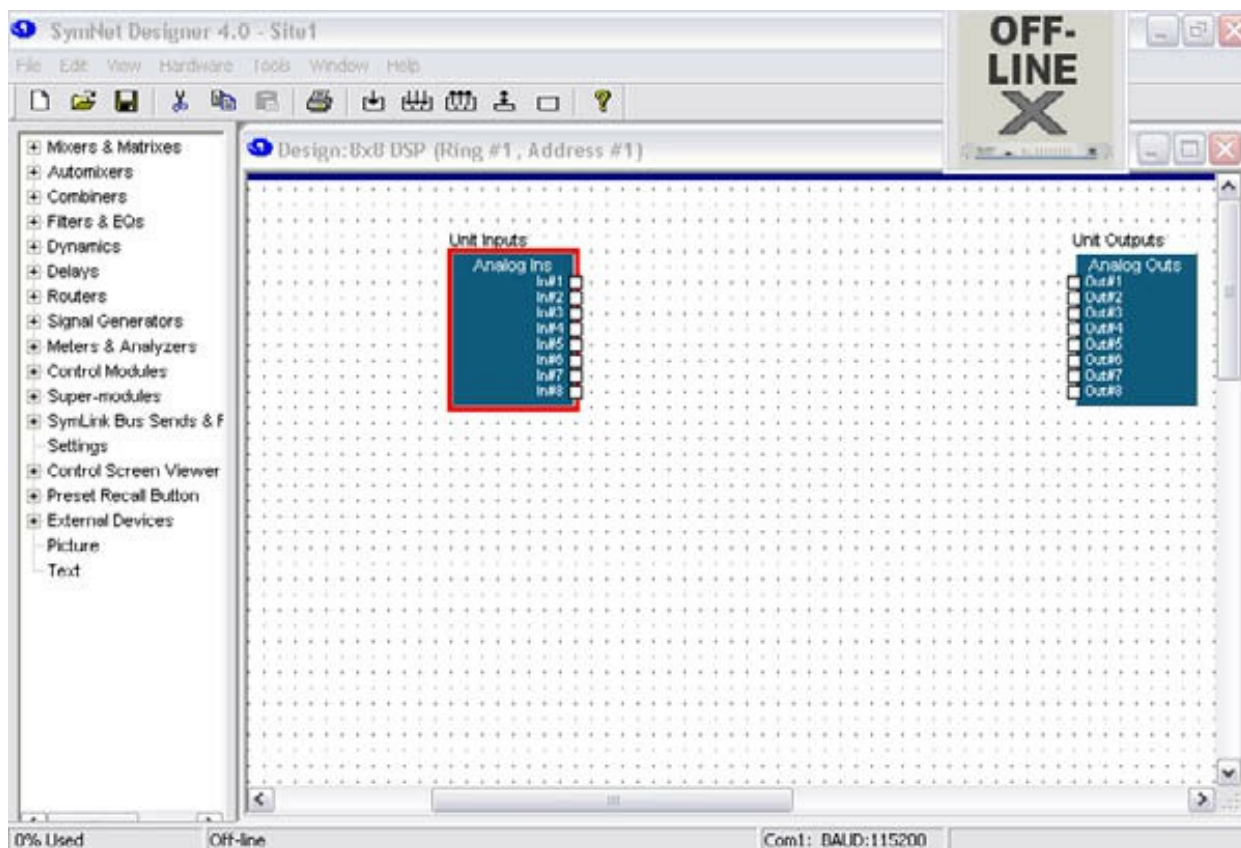


figura 4.283 matriz separada nos blocos de entrada e de saída cortesia Symetrix

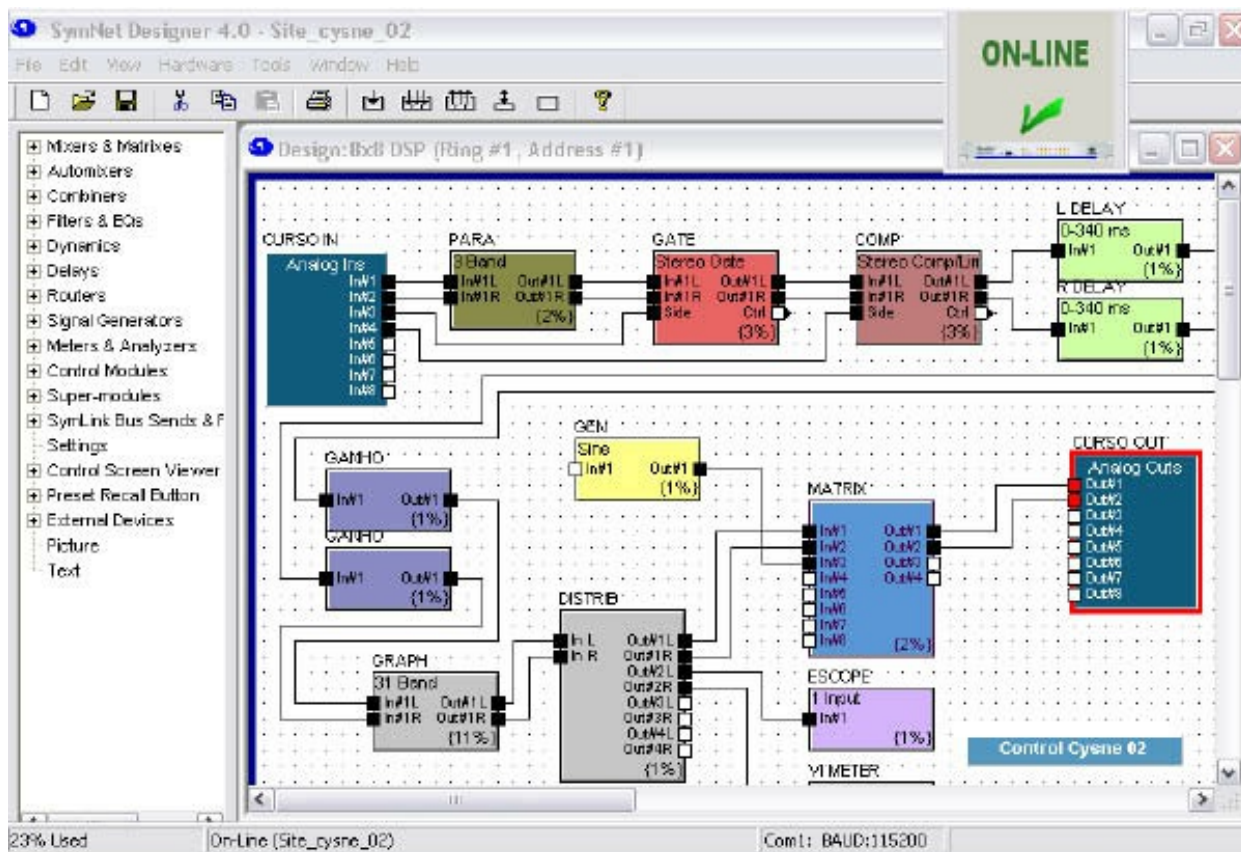


figura 4.284 alguns dos vários recursos já alocados cortesia Symetrix

Como resultado você terá uma tela como a da figura 4.283. A matriz foi separada nas 8 entradas do lado esquerdo e nas 8 saídas do lado direito.

A partir daí você pode começar a introduzir os recursos que quiser. Basta procurá-los na relação da esquerda, clicar onde desejado e o recurso “pulará” para a tela principal. Quando você tiver completado todos os recursos pretendidos, bastará liga-los entre si da maneira que entender ser melhor.

Veja na figura 4.284 uma tela já contendo vários recursos, todos interligados. Para fazer a interligação coloque a ponta da seta do mouse sobre uma das extremidades desejadas e vá arrastando até a outra.

Veja que cada recurso é representado numa cor diferente.

Uma vez introduzidos os recursos na tela é preciso configura-lo.

Para tanto, clique no correspondente retângulo.

Esse clique abre uma caixa de diálogo através da qual você pode configurar todos os parâmetros daquele particular recurso.

Vamos supor que tenhamos introduzido o recurso compressor.

Ao clicar sobre o correspondente retângulo, de cor marrom, abre-se a tela da figura 4.285.

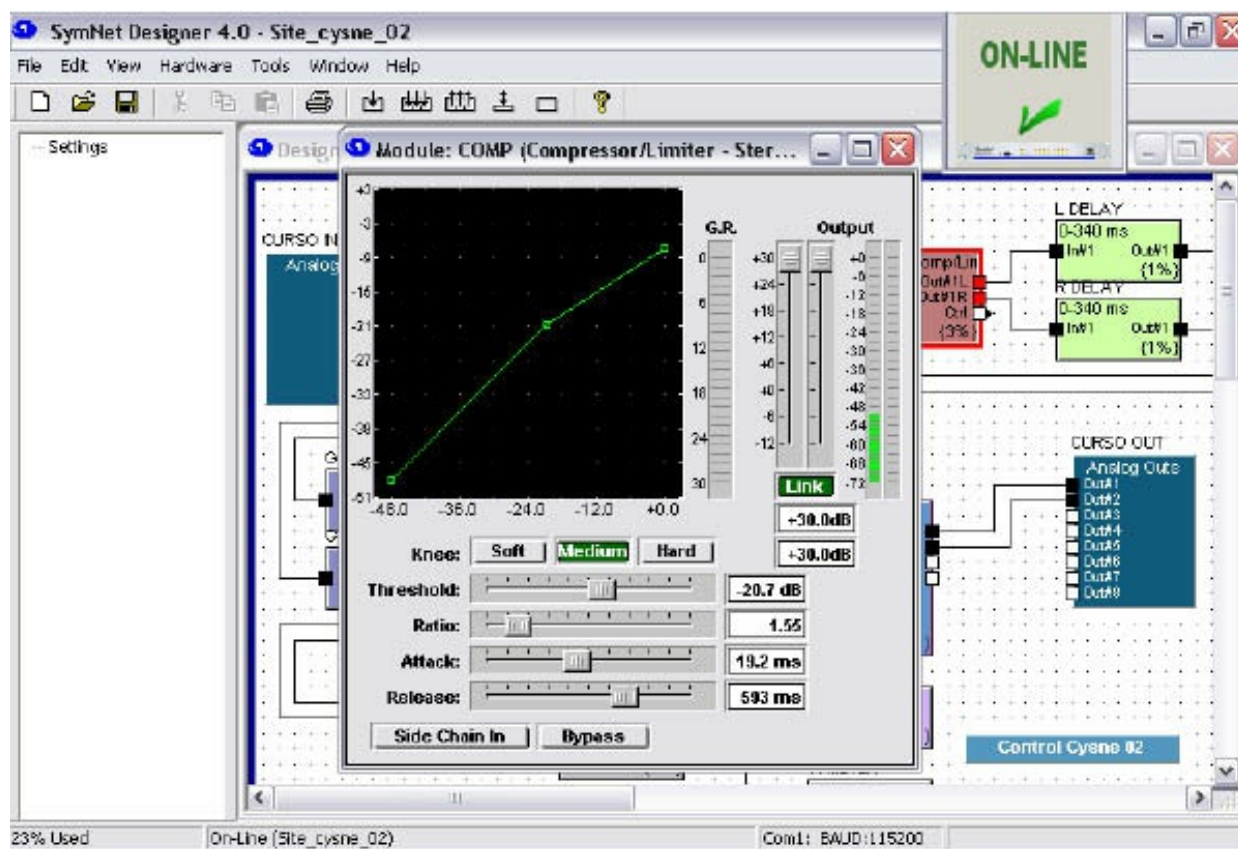


figura 4.285 janela de programação do recurso compressor cortesia Symetrix

Lá estão os parâmetros limiar, taxa, ataque, release, níveis, além de janelas side chain, que é a cadeia lateral, e de bypass da função compressão.

Os parâmetros podem ser configurados calmamente. Repete-se a operação para todos os demais recursos.

Observe que, exceto por uma tela das figuras acima, em todas as demais aparece uma janelinha com os dizeres “ON-LINE”. Esta mensagem informa que o Symnet está devidamente

ligado ao seu computador.

Caso contrário, aparecerá a mensagem “OFF-LINE”, como mostra a figura 4.283.

Claro que o Symnet ou grupo deles pode ser operado a partir das telas que acabamos de discutir.

Mas há uma forma melhor.

Podemos criar um outro tipo de tela, muito menos técnica e muito mais em linha com os ícones da informática, onde só colocamos os controles que vamos utilizar com mais frequência.

Veja o exemplo disso na figura 4.286.

Como você terá observado, há textos em praticamente todas as telas. Isso mesmo. Podemos inserir textos onde desejarmos.

Para todo o leitor que tiver interesse específico em estudar com mais profundidade esse aparelho, recomendo que faça o download do programa Symnet Designer em sua última versão, e que o rode em seu computador.

Isso pode ser feito mesmo que você não tenha um aparelho Symnet ligado.

O programa rodará na condição “OFF-LINE”.

Assim é possível praticar à vontade e criar todas as telas que discutimos, além de praticamente adquirir familiarização com detalhes do produto.

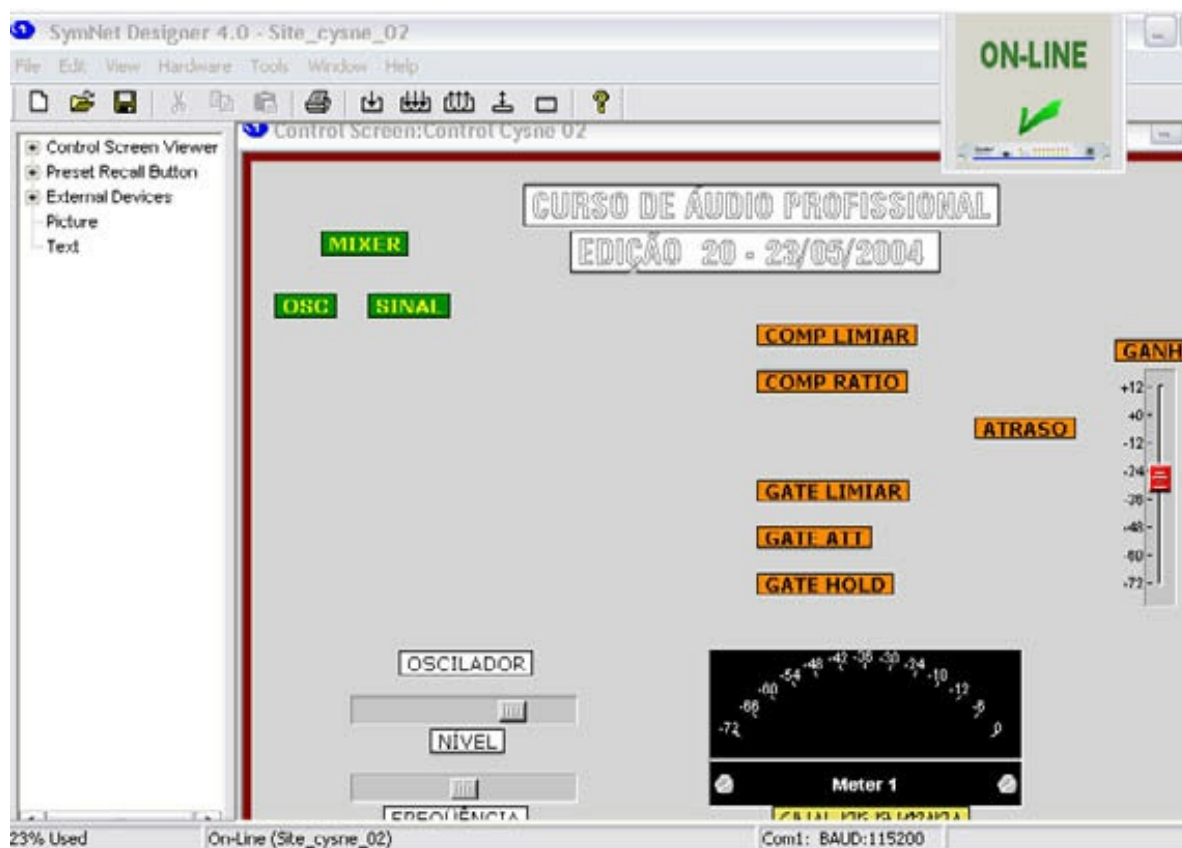


figura 4.286 janela de operação, não técnica cortesia Symetrix

Neste momento gostaria de mencionar que o conceito Symnet foi recentemente reformulado pela Symetrix, num processo evolutivo natural. Muitos recursos novos foram introduzidos,

especialmente os relacionados com a comunicação, a exemplo da incorporação do protocolo Dante e de algumas providências que ajudam a flexibilizar as aplicações e, simultaneamente, reduzir investimentos em sistemas mais complexos.



figura 4.287 Symmetrix, sistema SymNet EDGE, acima o painel frontal e abaixo o painel traseiro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.287 exibe os painéis frontal e traseiro do novíssimo Symnet Edge, com roteamento totalmente customizável. O Edge tem capacidade para abrigar muitos engenhos DSP, podendo ser expandido de modo muito conveniente, incluindo blocos construtivos de portas para redes Dante 64x64. Alguns recursos, como poder trabalhar com módulos como o Radius 12x8 EX, equipado com 12 entradas analógicas para microfone e/ou linha e 8 saídas também analógicas, é uma ferramenta de grande utilidade para qualquer projetista.

A ideia de embutir no sistema quatro slots para cartões, como pode ser visto no painel traseiro, reduz drasticamente o investimento total no sistema já que amplia de modo considerável as entradas e saídas do pacote, mantendo-se a altura de 1 UR (44,45 milímetros).

Os cartões disponíveis são de 4 canais analógicos de entrada, 4 canais analógicos de saída, 4 canais digitais de entrada versão consumo S/PDIF e/ou profissional AES/EBU, 4 canais digitais de saída que, como no caso da entrada podem ser versão consumo S/PDIF e/ou profissional AES/EBU, interface para 2 linhas telefônicas analógicas via conectores RJ11 e interface para 2 linhas VOIP, suportando telefonia de banda larga e incluindo funções como dial, hold, resume, transferências, do not disturb e conferência.

Além disso tudo há também dois módulos de expansão, um com capacidade adicional para 12 entradas (SymNet xIn 12) e outro para 12 saídas (SymNet xOut 12). Ambos suportando redes com protocolo Dante. Portanto, usando infraestrutura convencional de TI. Tudo isso e mais a possibilidade de ligar com arquitetura “daisy chain” até dez dessas unidades, importante dizer, sem necessidade adicional de qualquer hardware, é algo que na prática é uma potente ferramenta para configurar sistemas complexos de quaisquer portes.

Uma extensa linha de acessórios pode ser vista como a cereja no topo do bolo.

4.10 ASE – ÁUDIO SOBRE ETHERNET

Creio que este tema foi razoavelmente explorado no capítulo 1 – Sistemas de Sonorização, em seu tópico 1.20 e subtópicos.

Com efeito, o conceito ASE pende muito mais para o que chamamos de sistema do que para equipamentos, isoladamente ou não. Foi por isso que escolhi o capítulo 1 para abrigar o

assunto.

O termo em inglês para ASE é NAS, acrônimo para Networked Audio System.

Convém ressaltar que todo o conceito está intimamente relacionado com a forma pela qual os equipamentos são interligados. Nos casos convencionais cada caminho de áudio requer um cabo físico interligando dois pontos específicos. Por isso mesmo, alterações e modificações, mesmo que pequenas, a exemplo da adição de um ou dois canais, podem trazer resultados funestos, especialmente com custos elevadíssimos e desproporcionais, esforços desmedidos e tempo necessário muito elevado para os padrões atuais.

Daí o grande potencial para o ASE, que elimina parte significativa de tudo isso a um só tempo. Afinal, um simples cabo de rede, de baixo custo por questões de concepção de origem, pode portar centenas de canais de áudio e de vídeo, além de informações de controle, de status e tantas outras.

Fica claro que a infraestrutura em eletrodutos, de projeto difícil e execução sempre árdua e cara, deixa de existir como no passado graças ao conceito ASE.

A forma mais utilizada para portar sinais de áudio em sistemas ASE é utilizando Protocolo de Internet (IP) sobre Ethernet.

O que permite montar o pacote empregando switches de prateleiras, cabeamento já existente na maioria dos locais, além de conectores e hardware padrão industrial e universalizado, sem nada a customizar ou desenvolver.

Além disso, os fabricantes desenvolveram produtos que praticamente não requerem configurações, ou que as automatizaram em grau elevado, reduzindo ou eliminado tempo antes requerido para treinamento.

Em outras palavras, é uma fórmula bem sucedida de “plug and play”.

É por tudo isso, bem como pelos detalhes discutidos no capítulo 1, que o ASE está substituindo rapidamente os antigos sistemas cabeados.

4.11 CABOS E FIBRAS ÓTICAS

4.11.1 Cabos

4.11.1.1 Cabo Coaxial

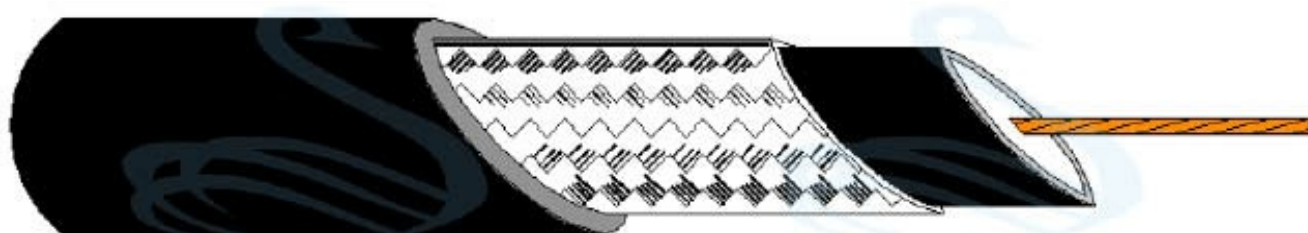


figura 4.288 cabo coaxial acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.288 ilustra o cabo coaxial típico.

Um condutor central devidamente isolado é envolvido por outro condutor externo, numa montagem coaxial, o que dá o nome ao cabo.

O condutor externo pode ser formado por filamentos espiralados ou trançados, ou ainda, por uma fita condutora.

O condutor central porta o sinal de áudio. O condutor externo é seu retorno elétrico, e tem funções de blindagem.

Do ponto de vista técnico, por portar sinais, esse condutor externo não pode ser considerado uma blindagem autêntica.

Outra grande limitação dos cabos coaxiais é que eles não se prestam para uso com linhas balanceadas.

Portanto, sua aplicação fica praticamente restrita ao áudio de consumo, aplicações relacionadas com instrumentos elétricos e eletrônicos, bem como a alguns poucos tipos de campos de jaques e jumpers.

4.11.1.2 Par Torcido Com Blindagem



figura 4.289 par torcido com blindagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O par torcido com blindagem é a variedade de cabo mais utilizada em áudio profissional. Como mostra a figura 4.289, cada condutor do par é individualmente isolado, e depois ambos são torcidos.

Essa trança é então envolvida por um condutor externo, agora com funções de blindagem autêntica, que pode assumir quaisquer das formas anteriormente mencionadas.

A blindagem externa é então envolvida por uma camada eletricamente isolante, denominada jaqueta, feita de material isolante, como o PVC.

As aplicações do par torcido com blindagem no áudio profissional são inúmeras. Notadamente nas linhas de microfone e nas ligações portando sinais a nível de linha.

Em razão de seu uso nas linhas de microfones, estes cabos muitas vezes são chamados de cabos de microfones.

Para esta específica aplicação, dado o baixo nível dos sinais gerados pela grande maioria dos microfones de baixa impedância, é imperativo que a blindagem seja muito eficiente.

A torção dos dois condutores é um dos meios mais eficazes utilizados no controle de ruídos.

4.11.1.3 Trio Torcido Com Blindagem O trio torcido com blindagem é semelhante ao par torcido com blindagem, exceto que ao invés de dois condutores centrais, a trança é formada por três deles, como mostra a figura 4.290.



figura 4.290 trio torcido com blindagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 4.11.1.4 Star-Quad Com Blindagem O star-quad é um cabo especial.

São quatro condutores individualmente isolados e torcidos, formando dois pares, envolvidos por uma blindagem externa, e por uma jaqueta isolante que recobre a blindagem.

A disposição dos condutores é tal que os dois condutores de cada par estão sempre diametralmente opostos.

Geralmente, essa situação física só é conseguida quando se utiliza um guia de nylon, ou de material semelhante, definindo o centro físico do cabo.

Outras vezes, esse guia tem a função de estabilizar mecânica e eletricamente o cabo. A figura 4.291 mostra a construção de um star-quad.

Em condições normais de utilização, os dois condutores opostos de cada par são interligados nas duas extremidades do cabo, de sorte que para efeitos práticos é como se o cabo só tivesse dois condutores mais a blindagem.



figura 4.291 star-quad com blindagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 4.11.1.5 Par torcido com blindagem de cobre e dreno, miniaturizado



figura 4.292 par torcido com blindagem de fita de cobre e dreno, miniaturizado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como mostra a figura 4.292, esta é uma variação do par torcido que vimos anteriormente.

Entretanto, por ser miniaturizado, e por suas excelentes capacidades de blindagem, este é um cabo que vem sendo cada vez mais utilizado em áudio profissional.

O dreno é um condutor não isolado, que corre junto à blindagem, fazendo contato elétrico com ela. Sua finalidade é facilitar o serviço de acabamento do cabo nas extremidades.

4.11.1.6 Dois Pares Individualmente Torcidos e Blindados com Fita, Mais Blindagem Externa

Ao contrário do star-quad, este cabo possui dois pares torcidos individualmente.

Há uma blindagem de fita envolvendo cada par torcido, além de uma camada externa de blindagem.



figura 4.293 dois pares individualmente torcidos e blindados com fita, mais blindagem externa acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma jaqueta isolante, geralmente de PVC, é colocada externamente

para proteger o cabo com um todo.

A figura 4.293 mostra um destes cabos.

4.11.1.7 Multicabos

Multicabos são grupos de pares torcidos com blindagem, envolvidos por uma blindagem externa. Eles são fabricados com diversas quantidades de pares no grupo, desde seis ou oito pares blindados, até quarenta e oito, ou mais pares.



figura 4.294 multicabo de 8 vias acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Sua aplicação é grande em praticamente todos os sistemas não permanentes, e em estúdios.

A figura 4.294 mostra um multicabo com oito pares.

4.11.2 Cabos de Rede 4.11.2.1 Introdução

Os cabos de rede definitivamente se tornam cada dia mais importantes para o áudio. Há algumas razões por trás disso. A principal delas é que sistemas de som de quaisquer portes se valem cada vez mais das redes Ethernet como meio de interligação, substituindo vantajosamente os cabos convencionais de áudio. Mas há outros motivos.

Por exemplo, muitas interligações individuais ou de pequenos agrupamentos de interligações também são feitas com cabos de rede. Os quais podem ou não ser parte de redes Ethernet. No primeiro caso os cabos são lançados com a intenção única de interligar dois ou mais pontos afastados. Usualmente essas interligações são assistidas por extensores de áudio como os da figura 4.347. Mas há outros exemplos que também usam cabos de rede, como os snakes digitais das figuras 4.319 a 4.323.

Entendo que muitas notícias confusas sobre cabos, por vezes contraditórias, sempre encontraram brechas para chegar ao mercado. Onde produziram dúvidas e fixaram conceitos errados. Isso se agravou muito com a Internet, onde quem quer posta o que julga ser tecnicamente correto.

Por isso, antes de entrar nos detalhes dos cabos de rede é fundamental dar uma passadinha rápida num conceito que praticamente deu origem aos cabos de rede. Trata-se do “par torcido”, lustrado na figura 4.295.



figura 4.295 par torcido, por vezes chamado par trançado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como se percebe na figura, par torcido nada mais é do que a formação obtida com dois condutores elétricos individualmente isolados e fisicamente torcidos entre si.

Simples, não é?

Não. Não é não.

Embora possa parecer algo assustadoramente claro e despretensioso, o lance envolve um certo enigma técnico.

Desvendá-lo é o propósito das linhas que seguem.

Cansei de ouvir perguntas que me parecem bem lógicas quando formuladas por pessoas sem formação técnica. Elas questionam o porquê das tranças ao invés de não se usar simplesmente um par paralelo.

A resposta para isso remonta aos primórdios da telefonia.

Vamos lá?

Permitam-se definir inicialmente o termo “diafonia”, que em inglês é crosstalk. Trata-se da interferência havida entre dois pares torcidos de um cabo contendo dois ou mais pares torcidos. Como um típico cabo de rede.

O par que provoca a interferência é chamado “par interferente” e o outro é o “par interferido”. A diafonia costuma ser dividida em tipos diferentes, a saber: **near end crosstalk (NEXT)** – interferência entre dois pares num cabo, medida na mesma extremidade do cabo onde fica o transmissor do par interferente.

power sum near end crosstalk (PS-NEXT) – similar ao NEXT, mas é a soma das interferências provocadas por todos os pares que fazem parte do cabo.

far end crosstalk (FEXT) – Como o nome sugere, é a medida da interferência do par interferente no par interferido, sendo que a medição é feita na extremidade do cabo oposta à do transmissor do cabo interferente.

power sum equal level far end crosstalk (PS-ELFEXT) – similar ao PS-NEXT, sendo que agora a medição não é mais feita na mesma extremidade do cabo onde fica o transmissor do par interferente, mas na extremidade oposta.

alien crosstalk (AXT) – interferência provocada num par torcido interferido por um par torcido interferente, mas externo ao cabo do qual faz parte o cabo interferido.

Isto posto, posso mencionar que as primeiras linhas telefônicas utilizadas pelas companhias telefônicas eram linhas telegráficas, constituídas de apenas um condutor elétrico aéreo, fixado em postes bem acima do nível do solo.



figura 4.296 linha telegráfica primitiva, construída com um condutor de cobre, aérea, e retorno pelo

solo terrestre acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O retorno era feito pelo próprio solo terrestre. Veja o esquema disso na figura 4.296. As setas indicam o fluxo da corrente elétrica.



figura 4.297 linha telegráfica balanceada, construída com dois condutores de cobre, ambos aéreos
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Agora, ao invés de um só condutor com retorno pela terra,
eram dois os condutores portando o sinal. O terra não portava mais nada de sinal a ponto de poder ser
totalmente omitido.

Os dois condutores da figura 4.297 portam sinais de mesma magnitude com fases opostas. Como representado na figura 4.298. A forma de transmitir os sinais como na figura 2.298 é conhecida como transmissão diferencial. A extremidade receptora, denominada entrada diferencial, interpreta e processa a diferença de voltagem entre os condutores A e B.

Como esses condutores eram aéreos, ainda estavam sujeitos a muitas formas de interferência eletromagnética. Fontes interferentes de ruído introduzem ruídos espúrios e indesejáveis nos condutores por meio da ação de campos elétricos e/ou magnéticos. Fontes interferentes distantes do circuito interferido tendem a afetar igualmente aos dois condutores, produzindo ruídos de modo comum. Veja na figura 4.299 o que são ruídos de modo comum. Para efeito de comparação a figura também mostra, em seu lado direito, os ruídos de modo diferencial.

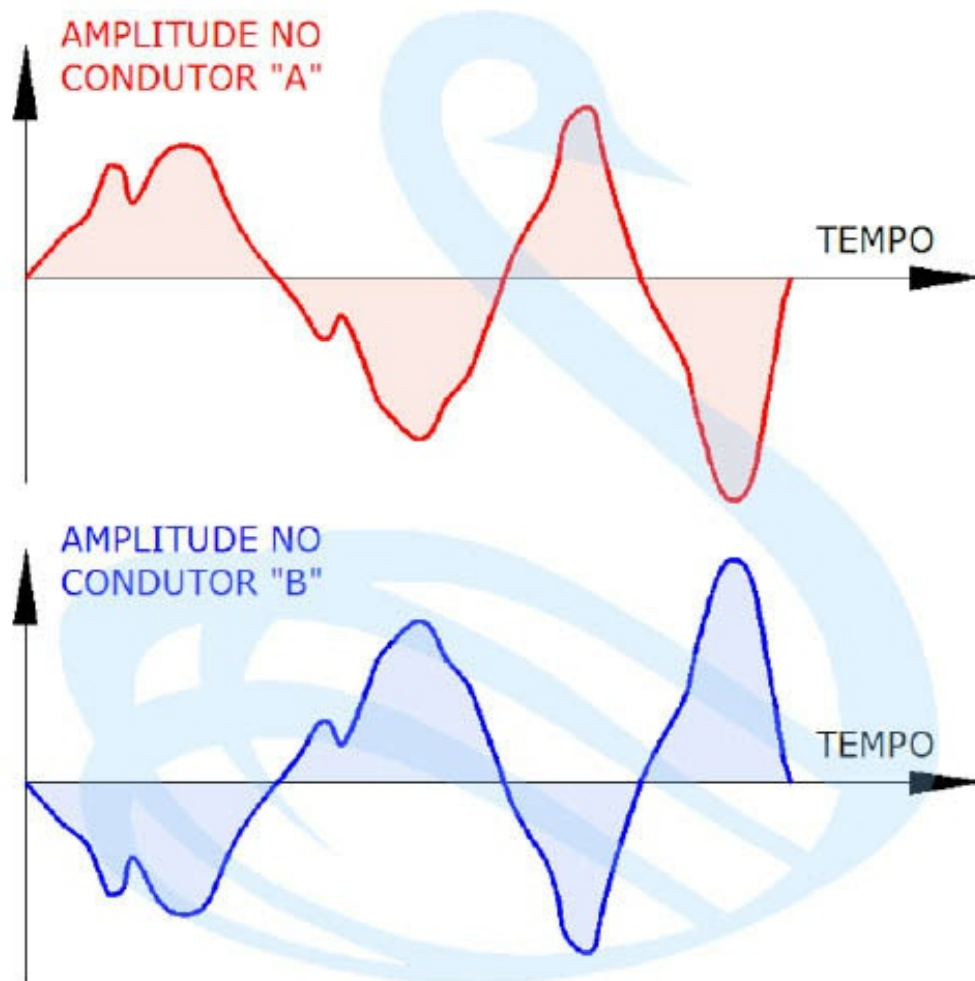


figura 4.298 sinal diferencial com transmissão diferencial acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

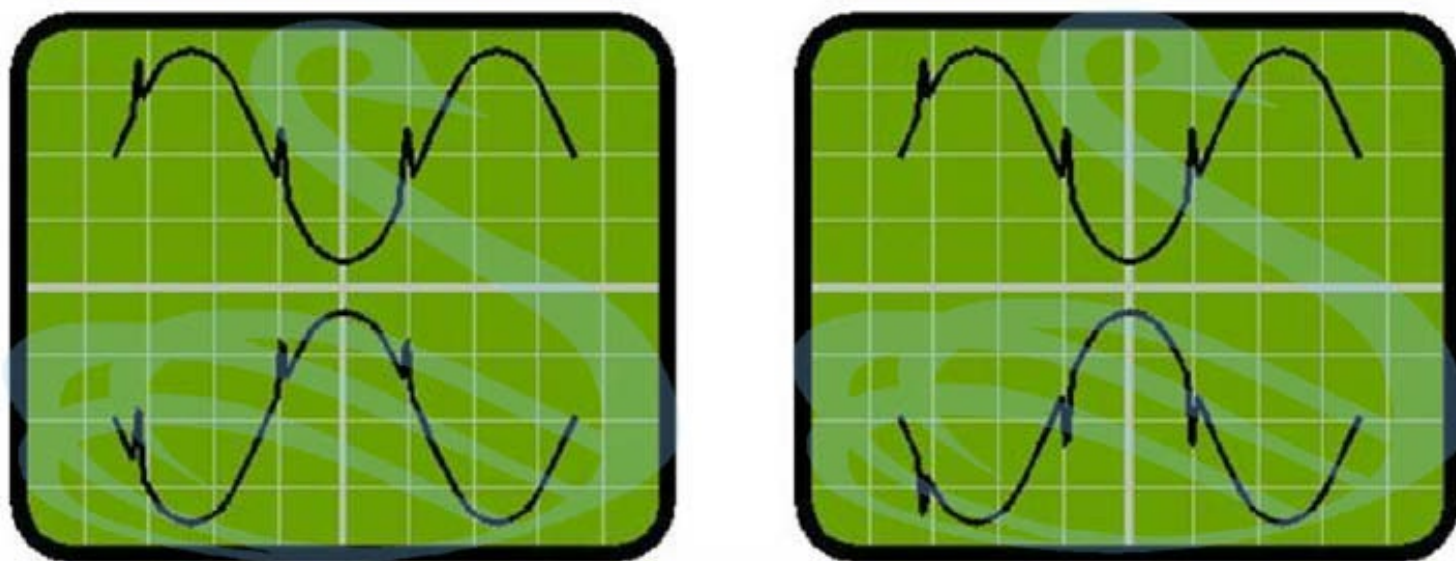


figura 4.299 ruídos de modo comum à esquerda e de modo diferencial à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como mencionei antes, a entrada diferencial recebe e processa sinais diferenciais e tende a eliminar ruídos de modo comum. Aliás, essa é a principal vantagem da transmissão diferencial terminada numa entrada diferencial. Quando as linhas telefônicas eram como na figura 4.297, o problema de interferência parecia estar totalmente resolvido.

Ocorre que nessa ocasião as cidades começaram a distribuir energia elétrica.

Os cabos de energia, também aéreos, compartilhavam as mesmas rotas que os cabos telefônicos. Mais uma vez o fantasma da interferência de ruídos sobre as linhas telefônicas se fazia sentir.

O que provocava muitas reclamações e, por vezes, inviabilizava o serviço telefônico. Um

problema que preocupava muito a todos porque era um eventual ponto final para a qualidade de um serviço que praticamente estava sendo experimentado por pequenas comunidades.

Era preciso encontrar uma solução. Ela chegou rapidamente com o pomposo nome de transposição. O que é ilustrado na figura 4.300.

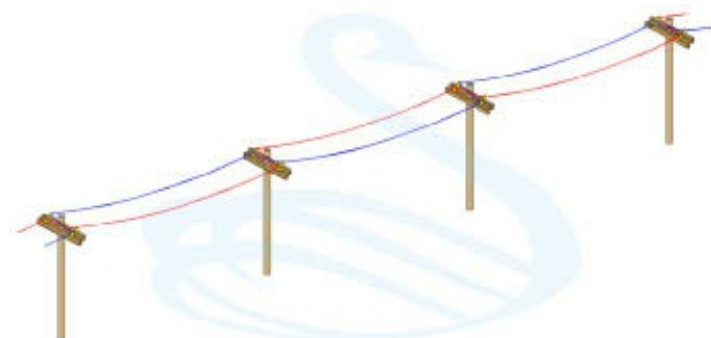


figura 4.300 transposição da linha de comunicação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Aideia por trás da transposição é que, com ela, ora um condutor fica mais próximo da fonte interferente, e no lance seguinte o outro condutor é que fica mais próximo da fonte. Com isso, na média a desigualdade de interferência entre os dois condutores tende a desaparecer. De sorte que os dois condutores acabam sendo igualmente afetados pela interferência. Após algumas tentativas e aprendizado o resultado chegou. Mas apenas de modo parcial. Para contornar o obstáculo ainda vivo aumentou-se a quantidade de transposições. Imagine agora que a quantidade de transposições vá aumentando mais e mais. Qual é o limite dessa ação? Acertou na mosca: o par torcido. Muito importante mencionar, sem blindagem.

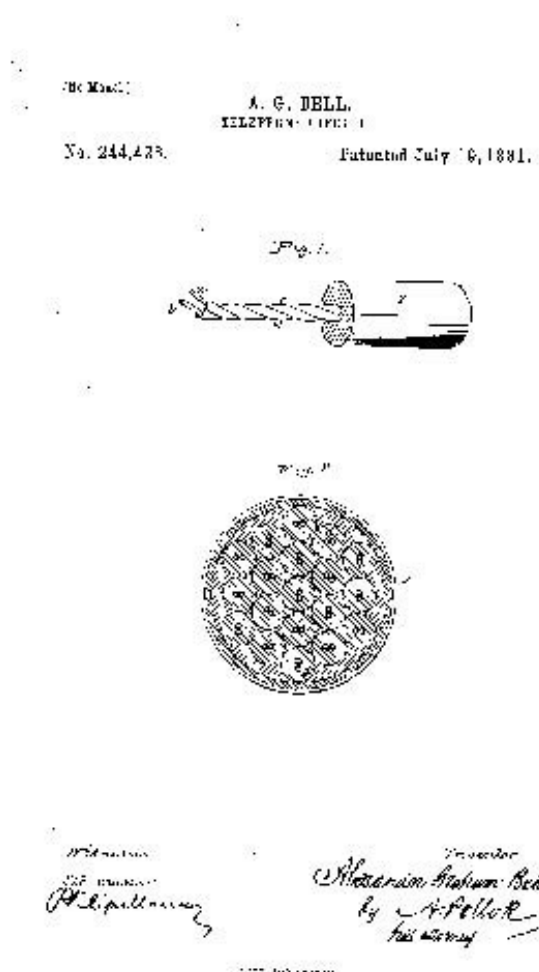


figura 4.301 documento de concessão de patente a Alexander Graham Bell – cabos torcidos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mais importante ainda é reverenciar o gênio de Alexander Graham Bell.

O inventor do par torcido sem blindagem. Na figura 4.301 sua patente de par torcido,

concedida aos 19 de julho de 1881. Pode?

A figura 4.302 ilustra porquê o par torcido tem essa extraordinária capacidade de atenuar muito ou até mesmo eliminar os ruídos de modo diferencial.



figura 4.302 correntes induzidas em direções opostas se cancelam acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A particular forma de indução depende da posição relativa entre a fonte interferente e o par interferido e da distância entre ambos.

No caso da figura 4.300 as correntes induzidas caminham em sentido anti-horário em cada elo. No elo da esquerda a corrente no condutor vermelho flui da esquerda para a direita.

No elo à direita desse, com as correntes também caminhando no sentido anti-horário, o condutor vermelho segue por cima e agora a corrente nele induzida flui da direita para a esquerda. Logo, essas duas correntes de sentidos opostos se cancelam mutuamente. O mesmo ocorrendo com as correntes no condutor de cor azul.

Já se sabia que quando a fonte interferente fica muito próxima dos cabos interferidos, como no caso dos cabos de energia e cabos de telefonia, o condutor mais próximo da fonte é mais afetado do que o outro. Veja essa situação na figura 4.303.



figura 4.303 quando a fonte interferente está muito próxima do par interferido, um dos condutores é mais afetado do que o outro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ao invés de representar a interferência com correntes elétricas, podemos representar com voltagens.

É o que mostra a parte superior da figura 4.304.

Veja que na extremidade direita do par torcido a diferença torna-se nula. Para efeito de comparação incluí na mesma figura, em sua parte inferior, um par paralelo submetido à mesma interferência que o par torcido.

Veja que agora a diferença de voltagem da extremidade direita do par não torcido é a soma de todas as voltagens desenvolvidas nos vários segmentos do cabo.



figura 4.304 interferência representada com voltagens ao invés de correntes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esse mecanismo de imunidade natural dos pares torcidos contra interferências eletromagnéticas faz com que, em comparação com os pares paralelos, a rejeição contra interferências seja muitas vezes superior. Eis porque, depois de Graham Bell, esse método passou a ser adotado como a melhor maneira de prevenir ruídos.

Outro aspecto que preciso ventilar rapidinho é o da blindagem eletromagnética.

Como era de se supor, há uma infinidade de debates sobre as vantagens e desvantagens de cabos blindados em relação aos não blindados. Entretanto, ninguém discorda que, mantidos os demais parâmetros constantes, os cabos blindados são mais imunes a interferências do que os cabos não blindados. A desvantagem é que cabos blindados exigem a ligação elétrica da blindagem de todo o equipamento, desde a origem até as terminações.

A propósito, a diferença entre uma conexão para terra e uma conexão de blindagem de cabo é que a primeira interliga as blindagens do sistema ao TGM (Telecommunications Grounding Bar) ou ao TMGB (Telecommunications Main Grounding Bar). Já a conexão de blindagem tem a função de manter a continuidade elétrica das blindagens ao longo das linhas, o que é feito através de conectores apropriados.

As duas funções mais importantes de qualquer blindagem são conter ou atenuar as interferências que contaminariam os pares interferidos e proporcionar um caminho de baixa impedância para terra, por onde serão descartadas as interferências induzidas na blindagem.

A blindagem oferece performance de diafonia e de imunidade contra ruídos que nenhuma estratégia de desenho de cabo não blindado pode alcançar.

O material escolhido para a blindagem é sempre escolhido em função de sua habilidade de maximizar a imunidade a campos elétricos, de refletir de volta ondas interferentes que nele incidam, por suas propriedades de absorção elétrica e por sua capacidade de prover caminhos de baixa impedância ao longo do cabo.

Usualmente se usa uma fita de alumínio porque ela oferece 100% de cobertura contra frequências de até 100 MHz. A espessura da fita é escolhida em função do efeito pelicular das ondas interferentes. Espessuras típicas são de 0,04 a 0,06 milímetros. Blindagens trançadas e fios drenos adicionam robustez aos cabos o que, por seu lado, eles também reduzem a resistência elétrica ao longo do cabo. Assim, a diferença de ruído acoplado a um cabo blindado pode chegar a ser 1.000 vezes menor que o acoplamento verificado num cabo sem blindagem, ambos colocados no mesmo ambiente de interferências.

Além das fitas as blindagens também podem ser construídas condutores trançados. São as

blindagens trançadas. Os termos em inglês são “foil”, “shield” para blindagem de modo bem amplo, e “braid” para as blindagens trançadas. Vez por outro encontramos o termo “screening” em alguns textos. O sentido é o mesmo que “shield”.

Podemos resumir as vantagens dos cabos blindados: 1 - diafonia de par para par muito reduzida em cabos totalmente blindados 2 - alien crosstalk reduzido 3 - muitos cabos blindados são construídos com diâmetro menor do que cabos não blindados 4 - imunidade a ruídos de todas as frequências muito superior à dos cabos não blindados, especialmente acima de 30 MHz, quando os cabos não blindados começam a operar em condições mais difíceis.

Pessoalmente prefiro os cabos totalmente blindados porque os cabos torcidos de boa qualidade são muito bem balanceados e protegem bem contra interferências de baixas frequências, porquanto as blindagens oferecem proteção contra as interferências de altas frequências.

Mas o que é mesmo cabo totalmente blindado?

Bem, vejamos as principais configurações de cabos com e sem blindagem e seus nomes mais comuns.

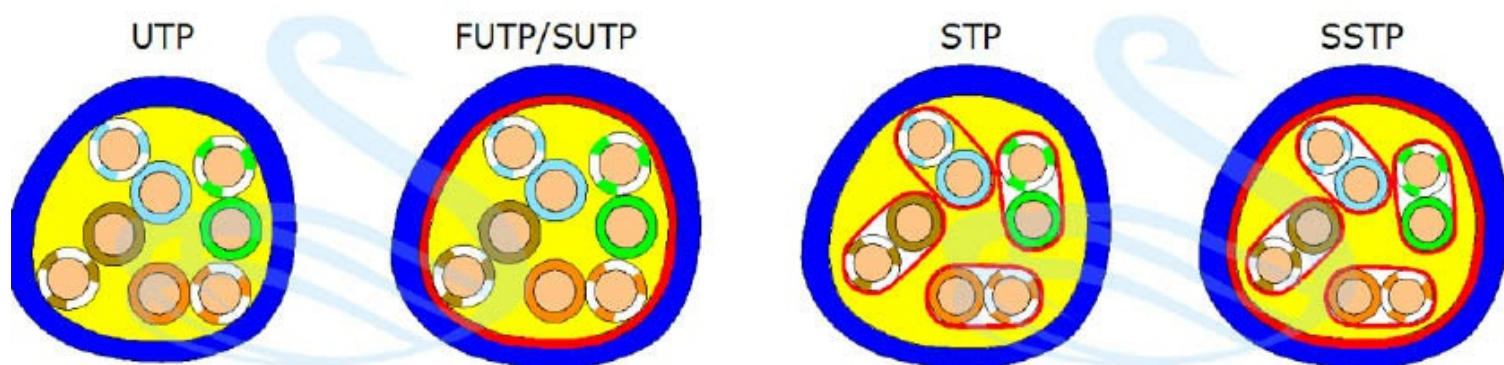


figura 4.305 configurações mais comuns de cabos de rede – blindagem em cor vermelha acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.305 mostra as principais configurações de cabos que são: UTP – Unshielded Twisted Pair A tradução literal é Par Torcido sem Blindagem.

FUTP/SUTP

É o mesmo cabo UTP ao qual se acrescentou uma blindagem, indicada com a vermelha na figura. Se a blindagem é de fita (foil), o cabo é chamado FUTP. Quando a blindagem é trançada (shielded) o cabo passa a ser chamado SUTP.

STP

O cabo STP é o que possui blindagens individualizadas para cada um dos quatro pares da formação. Usualmente essa blindagem é de fita.

SSTP

Este é o cabo a que me referi antes como cabo de blindagem completa. Ele tem as blindagens de fita individualizadas para cada um dos quatro pares da formação e, também, uma blindagem como no caso do cabo FUTP/SUTP. Logo, ela também pode ser de fita ou de

trançada.

4.11.2.2 Gênese dos Cabos de Rede história e cuidados

Nos final dos anos 70 os cabos trançados já eram empregados para interligar computadores. Claro que essas eram versões embrionárias dos cabos utilizados atualmente.

Os primeiros cabeamentos de redes LAN surgiram no início dos anos 80. Basicamente elas usavam uma forma de transmissão proposta pela IBM, denominada “Token Ring”. Os cabos eram IBM tipo 1. Este era um par trançado sem muita convicção, blindado com fita de alumínio e mais uma blindagem externa trançada. A impedância característica desse cabo era 150 Ω .

A opinião dos especialistas é unânime de que o cabo IBM tipo 1 era ideal para atender às necessidades dessa primeira geração de rede LANs. As blindagens desses cabos superavam com larga margem a capacidade de imunidade contra interferências dos pares trançados da época. O que permitia usar lances de até 100 metros sem problemas.

Em 1990 as vantagens da Ethernet em relação ao “Token Ring” se tornaram evidentes. Logo depois as pesquisas e muitos esforços levaram a cabos sem blindagem com imunidade superior à dos cabos tipo 1. Esses novos cabos podiam ser usados vantajosamente em redes 10baseT e 100 baseT. Esse fato sedimentou o uso de cabos de rede sem blindagem de forma avassaladora.

Vimos que as entradas diferenciais podem eliminar ruídos de modo comum. Mas isso é teoria.

Na prática nenhum cabo é perfeitamente balanceado. O que recomenda cuidados especiais com os projetos e fabricação dos cabos, especialmente com relação à obtenção de parâmetros que influenciam diretamente o balanceamento, a exemplo de Perda de Conversão Transversal (Transverse Conversion Loss - TCL), da Perda de Transferência de Conversão Transversal (Transverse Converse Transfer Loss – TCTL) e de tantos outros. Entretanto esses parâmetros também possuem seus limites. Os quais praticamente estabelecem o teto da banda operacional dos cabos. A banda típica é de 30 MHz para níveis ainda aceitáveis de imunidade a ruídos de modo comum como função de desvios e tolerâncias de balanceamentos. Contudo, esses 30 MHz já proporcionam condições satisfatórias para a maioria das redes 100baseT e 1000baseT.

quantidade de pares e anatomia íntima dos cabos de rede Como vimos acima, os cabos de rede mais simples possuem quatro pares de condutores torcidos. Todos identificados com cores. Esses quatro pares são protegidos por uma jaqueta externa, usualmente de PVC ou de polietileno. Os dois materiais contendo derivados alógenos. Lembro que em caso de incêndios, os plásticos contendo halogênio liberam clorido de hidrogênio, gás muito venenoso que produz ácido hidro clorídrico na presença de água.

Nitidamente, esse deve seu cuidado a se tomar quando da escolha dos cabos de rede. Por isso mesmo são fabricados cabos totalmente livres de halogênio, também chamados “Low Smoke Zero Halogen Sheating” ou simplesmente LSZH. Em meus projetos o uso desse tipo de cabo é uma exigência da qual não abro mão.

As cores mais comuns das jaquetas são o azul, o cinza, o branco e o preto. Convém informar que os cabos de rede não estão limitados a 4 pares.

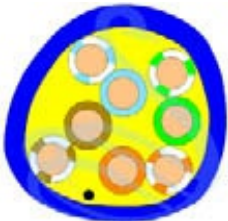


figura 4.306 configuração típica de cabo UTP

cortesia Cysne Science Publishing Co A figura 4.306 mostra um cabo de rede sem blindagem, vendo-se na parte inferior da figura um pontinho preto. Ele representa o fio dreno. Muita gente não sabe para que serve esse fio. Uma de suas funções é ajudar a estruturar fisicamente o cabo. Mas a função mais importante do fio dreno é facilitar o aterramento do cabo. Por vezes, além do fio dreno há também um segundo fio, geralmente de nylon ou material não condutor elétrico, cuja função é possibilitar que o cabo seja descascado mais facilmente. Convém informar que os cabos de rede não estão limitados a 4 pares. Com efeito, há cabos com 25 pares e até mesmo com 100 pares, como os empregados em estruturas “backbone”.

Veja alguns desses multicabos na figura 4.305.



figura 4.307 cabos com quantidades de pares bem acima de 4 pares cortesia Cysne Science Publishing Co A otimização da imunidade contra interferências e, também, a redução da radiação de ondas interferentes depende dos passos de torção e do sentido da torção.

Passo de torção é quantas torções o cabo apresenta por centímetro.

Os passos de torção mais comum para cabos com 4 pares são como mostra a tabela 4.8 .

tabela 4.8

COR DO PAR	PASSO	TORÇÕES/METRO
verde	1,53	65,2
azul	1,54	64,8
laranja	1,78	56,2
marrom	1,94	51,7

Apesar desses números, os fabricantes têm uma certa liberdade para estabelecer os passos que seus testes apontam ser os melhores para cada aplicação. O sentido da torção pode ser

horário ou anti-horário.

Os pares de um mesmo cabo de rede são feitos com diferentes passos e diferentes sentidos de torção.

Os passos de torção dos diferentes pares são escolhidos com base em números primos para que jamais haja alinhados físico entre as torções de diferentes pares. Esse é um poderoso instrumento de controle das interferências.

Cada condutor é individualmente isolado.

É fundamental que a centragem do condutor no dielétrico seja muito precisa, o que ajuda a manter a uniformidade da impedância do cabo e, por via de consequências, a qualidade do balanceamento. Muitos cabos de rede possuem uma alma central de nylon cuja função é manter a integridade estrutural do cabo e, através desse expediente, melhorar a taxa de rejeição contra diafonia.

Os cabos de rede podem ser do gênero sólido ou tipo “cabinho”, que é o nome de guerra do cabo não sólido ou trançado.

Os cabos sólidos são pouco flexíveis e indicados para instalações permanentes em eletrodutos ou eletrocalhas.

Suas características de propagação e de imunidade contra interferências é usualmente melhor que a dos cabos flexíveis. Até porque a estruturação mecânica de condutores sólidos é superior à dos condutores trançados.

Os cabos feitos com condutores sólidos também apresentam condutividade elétrica superior à dos cabos flexíveis.

Os cabos flexíveis são construídos de sorte que os condutores são formados por uma certa quantidade de fios de diâmetro muito reduzido.

Esses fiozinhos também são chamados “filamentos”.

Os cabos flexíveis são indispensáveis quando o uso é contínuo e as interligações são feitas em caráter provisório.

categorias

Quanto à categoria, os cabos de rede podem ser classificados em algumas categorias que relacionaremos logo adiante.

Para maior facilidade vou me referir apenas aos cabos UTP e STP, lembrando que até a categoria 4, inclusive, são cabos tecnicamente obsoletos.

- Categoria 1 – cabos telefônicos UTP para voz, inadequado para redes Ethernet, banda passante de 0,4 MHz,
- Categoria 2 – cabos UTP que suportam comunicação de até 3 Mbps, banda passante de 4 MHz
- Categoria 3 – cabos UTP que suportam comunicação de até 10 Mbps, com banda passante de até 10 MHz
- Categoria 4 – cabos UTP que suportam comunicação de até 16/20 Mbps, com banda passante de 20 MHz
- Categoria 5 – cabos UTP que suportam comunicação de até 100 Mbps, banda passante 100 MHz
- Categoria 5e – o “e” é para enhanced. São cabos UTP menos susceptíveis a diafonia do que os cabos categoria 5, próprios para comunicações de até 350 MHz, podendo suportar velocidades de Ethernet Gigabit. Dotados de jaqueta de PVC reforçada
- Categoria 6 – cabos UTP padrão para Internet Gigabit. Entretanto, eles suportam até 10 Gbps. Compatíveis com as categorias 5 e 5e. As especificações nesta categoria são muito mais rigorosas que as da categoria 5 e 5e. Especialmente no que concerne a diafonia para imunidade a ruídos.
- Categoria 6a – o “a” é para augmented. Cabos como os da categoria 6, mas que foram aperfeiçoados para apresentar melhores especificações de diafonia tipo “alien”.
- Categoria 7 – cabos STP desenvolvidos para Ethernet 1000baseTX, podendo portar dados de rede, de telefone e CFTV no mesmo caso. Banda passante 600 MHz.
- Categoria 7a – o “a” é para augmented. Cabos STP desenvolvidos para Ethernet 1000baseTX com versões para 10GbaseT, podendo portar dados de rede, de telefone e CFTV no mesmo caso. Banda passante 1000 MHz.
- Categoria 8.1 (em desenvolvimento) – cabos STP desenvolvidos para Ethernet 1000baseTX e para 40GbaseT, podendo portar dados de rede, de telefone e CFTV no mesmo caso. Banda passante 1600 a 2000 MHz.
- Categoria 8.2 (em desenvolvimento) – cabos STP desenvolvidos para Ethernet 1000baseTX e para Ethernet 40GbaseT, podendo portar dados de rede, de telefone e CFTV no mesmo caso. Banda passante 1600 a 2000 MHz.



figura 4.308 conectores jaque para cabos de rede, com informação da categoria do cabo adequado
cortesia Cysne Science Publishing Co Veja na figura 4.308 que há conectores diferentes para cada categoria.

Porque as isolações dos pares, as jaquetas e as blindagens podem variar consideravelmente de cabo para cabo.

Vimos também que uma dada categoria pode usar cabos de bitolas diferentes. O termo “bitola” descreve a área da seção transversal do cabo.

bitolas e detalhes construtivos Com relação à bitola dos condutores dos cabos de rede, também existe uma liberdade considerável para a escolha e para a fabricação dos mesmos. Ainda assim, as posições dos fabricantes a respeito desses tópicos são muito convergentes.

As categorias 5 e 5e usam condutores 24 ou 26 AWG.

Já as categorias 6 e 6a usam condutores 22 e 24 AWG. A tabela 4.9 fornece informações

adicionais sobre essas bitolas.

tabela 4.9

AWG	Ø mm	área mm²	Ω Ω/km	A max ampères	equival métrica	fusível recomendado			NOTA
						rap 10s	1 s	32 ms	
26	0,405	0,129	133,9	-	0,4	20Λ	39Λ	200Λ	
25	0,455	0,162	106,2	-	-	24A	49A	250A	
24	0,511	0,205	84,22	-	0,5	29A	62A	348A	
23	0,573	0,258	66,79	-	-	35A	79A	440A	
22	0,644	0,326	52,96	-	-	40 ^a	99Λ	550Λ	

Outra coisa realmente muito importante é que os dois condutores de cada par fiquem muito próximos entre si. Isso facilita a manter a impedância características dos cabos no valor padrão de 100 Ω. É por essa razão que alguns fabricantes oferecem uma variedade de cabo de rede denominada “bonded”. Nesses cabos os dois condutores de cada par são colados entre si. A medida ajuda a evitar que os condutores de um mesmo par sejam inadvertidamente separados. Veja a diferença entre um par torcido convencional acima e um par torcido “bonded” abaixo, ambos na figura 4.309.



figura 4.309 par torcido convencional e par torcido “bonded”

cortesia Cysne Science Publishing Co Aesse respeito, noto em campo com muita frequência que os instaladores não são bem orientados para trabalhar com cabos de rede.



figura 4.310 cabos com quantidades de pares bem acima de 4 pares cortesia Cysne Science Publishing Co Se por qualquer motivo os condutores de um par ficam separados como ilustra a figura 4.310, por exemplo, por efeito de um puxamento inadequado ou porque o raio de curvatura excedeu a capacidade do cabo, a interferência pode atingir os condutores separados com angulação diferente. Isso produz ruídos de modo diferencial que, como vimos, não repelidos pelas entradas diferenciais. Pior do que isso é que os cabos separados formam um elo que, infelizmente, se comporta como antena. Podendo captar facilmente interferências e aumentar os níveis de diáfonia.

Um dos recursos da tecnologia dos pares trançados é usar uma jaqueta externa bem espessa, o que mantém outros cabos e peças metálicas relativamente afastados dos pares protegidos por essa jaqueta mais parruda.

cabos industriais

A grande maioria dos cabos que se encontra a venda no mercado são cabos para uso em escritórios e empresas prestadoras de serviço.

Entretanto, instalações industriais e de missões críticas, exigem cabos e conectores especiais. Os cabos próprios para uso industrial são chamados de cabos “hardened”. Esses

cabos são utilizados em locais nos quais condições muito severas são praxe. Incluindo choques mecânicos frequentes, vibrações em geral e temperaturas extremas. Na grande parte das vezes esses cabos também devem estar preparados para enfrentar ação de vapores tóxicos e ácidos, presença de água e de detritos em geral.

Há muitas especificações de cabos “hardened”, que podem ser comparadas e escolhidas para cada aplicação específica.

Além disso, também há especificações de cabos próprios para oferecer confiabilidade ampliada e segurança ao ser humano. Importante usar apenas cabos certificados conforme legislação pertinente.

O conector deve ser escolhido com os mesmos cuidados ou teremos definido o elo mais fraco da cadeia.

outras especificações dos cabos de rede força tensora

O cobre é um metal que apresenta resistência mecânica a forças tensoras cerca de duas vezes superior à do alumínio. Por isso, blindagens trançadas de cobre estanhado são mecanicamente bem mais resistentes do que o alumínio. Isso deve ser levado em conta quando da escolha do cabo porque, desse modo, o cobre ajuda a reduzir falhas e interrupção nos serviços.

ductibilidade

Outra vantagem do cobre é sua grande ductibilidade, possibilitando que os cabos com cobre sejam passados facilmente por eletrodutos, mesmo aqueles com diâmetro bem reduzido.

expansão térmica

Em comparação com o alumínio e outros condutores elétricos o cobre é portador nato de baixo coeficiente de expansão térmica. O alumínio, por exemplo, expande mais de 35% a 40% que o cobre. Mais uma razão para a escolha do cobre em circunstâncias difíceis e missões críticas.

resistência à corrosão

O cobre é muito resistente aos efeitos da umidade, aos insultos de atmosferas industriais e fabris, à poluição de modo geral com seus agentes contaminantes e muitos outros corrosivos. Especialmente nas conexões elétricas providas por meios mecânicos. O que assegura uma boa margem de certeza de que essas conexões não serão sobreaquecidas, nem apresentarão aumentos significativos de resistência elétrica.

flexibilidade (pliability) A regra geral nos informa que quanto mais denso é o material metálico menos flexível ele tende a ser. Mas esse não é o caso do cobre, que é um ponto fora da curva. A combinação de elevadas resistências mecânicas com elevada ductibilidade

fazem do cobre o material ideal para a maioria das aplicações de sistemas de cabeamento.

Com efeito, o cobre pode ser dobrado, torcido, e puxado sem grandes problemas de ruptura mecânica.

4.11.3 Cabos Irradiantes Cabos irradiantes são complementos para redes sem fio, cuja função principal é estender o raio de alcance do sistema sem fio atendido apenas por pontos de acesso.

Com efeito, os Pontos de Acesso convencionais possibilitam que todos os dispositivos móveis sejam ligados à rede. Entretanto, há sempre um limite físico para as interligações sem fio. Tipicamente algo como 40 metros em ambientes fechados e 80 metros em locais abertos, quando os pontos de acesso operam na faixa de 2,4 MHz.

Veja a figura 4.311. Ela representa a sequência clássica de uma pequena rede sem fios.



figura 4.311 arranjo típico de rede sem fio com modem, roteador com fio e ponto de acesso cortesia Cysne Science Publishing Co O alcance dos Pontos de Acesso pode ser incrementado de várias maneiras. Por exemplo, aumentando a quantidade dos pontos de Acesso. Outra maneira, agora muito elegante, é utilizando os cabos irradiantes como os da figura 4.312.



figura 4.312 cabos irradiantes com 3 opções de diâmetro cortesia Cysne Science Publishing Co A extremidade inicial do cabo irradiante é ligada no conector da antena do Ponto de Acesso. Então, o cabo é passado ao longo de toda a área que se quer atender com a rede sem fio. Isso feito, o cabo irradiante passa a se comportar como antena transmissora. Aumentando de forma controlada e previsível o alcance das redes sem fio. O alcance usual da rede sem fio equipada com cabo irradiante pode ser estimado com base na informação que 50 metros de cabo irradiante atendem com folga a aproximadamente 1.000 m².

Vale notar que os cabos irradiantes podem ser lançados em trechos horizontais e verticais, o que possibilita atender andares diferentes de edifícios de quaisquer tipos. Para tanto, os cabos irradiantes contam com acessórios como espliters, seletores, conectores múltiplos, emendas, *etc.*

Veja na figura 4.313 o arranjo da figura 4.309, mas agora com emprego do cabo irradiante.



figura 4.313 arranjo típico de rede sem fio com modem, roteador com fio, ponto de acesso e cabo irradiante cortesia Cysne Science Publishing Co Uma grande vantagem do cabo irradiante é que além da rede sem fio complementar de Ethernet, também é possível irradiar, simultaneamente, sinais de vídeo, de telefones celulares, sinais de emergência a quaisquer títulos, trunking (Nextel), sistemas de paging (tele mensagem), retransmissão de sinais de rádio e de emissoras de TV, além de muitos outros.

Outra vantagem dos cabos irradiantes é que eles praticamente eliminam as zonas de sombra, tão comuns quando se usa apenas os Pontos de Acesso.

4.11.4 Fibra Ótica

A fibra ótica é formada por um núcleo de fibra de vidro, de sílica fundida, ou de plástico, que é o elemento que transporta a luz. Envolvendo esse núcleo, há um material com índice de refração ótica diferente da do núcleo, fazendo com que a luz seja conduzida apenas pelo interior do núcleo. Para que isso ocorra, há reflexões sucessivas feitas cada vez que a luz atinge a junção do núcleo com o material envoltório. Como ilustra a figura 4.314.

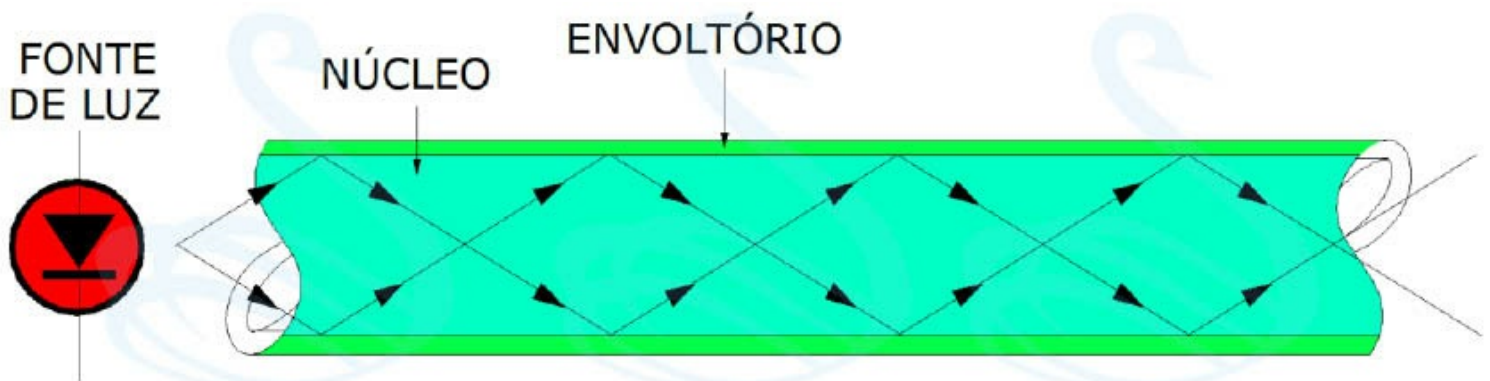


figura 4.314 condução de energia pela fibra ótica através de reflexões sucessivas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

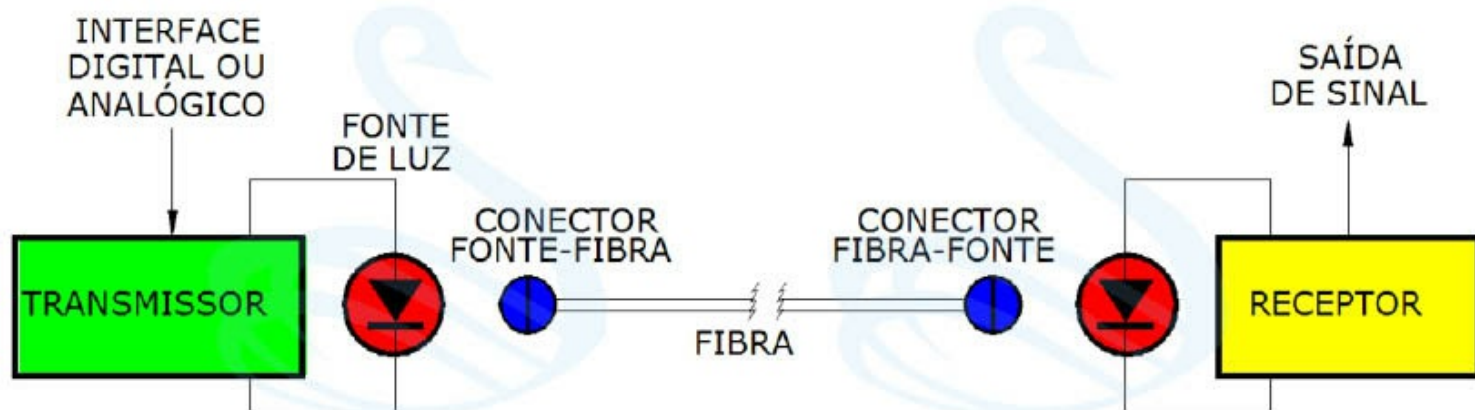


figura 4.315 representação simplificada de um sistema completo de fibra ótica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.315 ilustra de forma muito simplificada uma interconexão completa usando um cabo de fibra ótica. A interface analógica ou digital serve para adaptar os sinais às características do transmissor, que modula a frequência de luz com os sinais a transportar.

As fontes de luz mais utilizadas são o LED e o laser diodo. Os picos de comprimento de onda produzidos são da ordem de 1000 nm. A interligação da fonte de luz à fibra é feita no próprio conector.

Ao atingir a outra extremidade, a luz é processada por um detector, geralmente fotodiodos PIN ou de avalanche. O receptor regenera os sinais, e os entrega na saída do sistema.

O desenvolvimento da tecnologia das fibras óticas foi apenas uma resposta rápida e direta para as necessidades das telecomunicações, cujos sistemas, digitalizados praticamente de um momento para outro, exigiam soluções prementes para as transmissões de informações digitais a grandes distâncias.

Com as fibras óticas utilizadas com sucesso absoluto nas telecomunicações já há duas décadas, esta não é propriamente uma tecnologia emergente.

Entretanto, em termos de áudio, é algo de aplicação ainda em fase de germinação.

As fibras óticas representam o futuro inexorável das interligações entre os aparelhos dos sistemas de áudio, profissionais ou não. É claro que esta é apenas minha opinião pessoal.

Vejo muitos e muitos engenheiros de áudio que pensam assim, e muitos e muitos que pensam o contrário.

Mas as vantagens das fibras óticas sempre criaram uma expectativa muito grande entre os especialistas em áudio. Mas agora, muito próxima. Tanto no mercado profissional quanto no doméstico.

E até mesmo para a sonorização de veículos, onde as fontes interferentes e geradoras de ruído são muitas e estão todas bem próximas dos equipamentos.

As vantagens que as fibras oferecem podem ser assim alinhadas:

- uma das mais contundentes, é que, uma vez que as fibras não são metálicas, esse meio de transmissão é totalmente imune a TEM. Adicionalmente, problemas de diafonia deixam de existir
- o desempenho de transmissão é simplesmente soberbo, caracterizado por bandas passantes extremamente largas, e perdas insignificantes
- os dados digitais podem ser transmitidos a taxas de 90 Mb/s, ou superiores
- deixam de existir problemas de aterramento elétrico de sinal, e portanto de elos de terra, e de curtos-circuitos
- peso reduzido (cerca de 12 quilos/km), com muito pouco espaço ocupado, especialmente quando contidas em eletrodutos

Mas também há desvantagens. A principal é o preço, que por sinal já vem caindo bastante.

Outra é a dificuldade de conectorização, tanto nas extremidades quanto nas emendas.

E finalmente, a falta de padronização aprovada para áudio é um problema. Ele ocorre no interfaceamento elétrico ótico e vice-versa, em códigos digitais, *etc.*

Até muito pouco tempo atrás as aplicações das fibras ficavam restritas tão somente à transmissão de informações exclusivamente digitais.

E sua instalação só era economicamente viável para linhas sempre muito longas, portanto enormes quantidades de informações.

Mas o contágio da digitalização que assola o áudio nos quatro quadrantes deste planeta está levando muitas cabeças boas a procurar, permanentemente, soluções sempre novas para novos e velhos problemas.

Recentemente, alguns engenheiros egressos da Agência de Defesa Aeroespacial americana fundaram a AMS Labs.

E puseram suas massas cinzentas para cravar um sistema de fibras óticas que fosse “comprável”. Assim, foi lançado no mercado o MOFI, ou Mongoose Optical Fiber Interconnect.

O sistema é formado por um transmissor analógico de sinais, o receptor e a fibra ótica em si. Esse conjunto foi batizado Cobra pela AMS. O transmissor e o receptor são pouco maiores do que um maço de cigarros. E a fibra pode ser encomendada em quaisquer tamanhos que se possa desejar ou imaginar.

A principal diferença entre o Mongoose e os sistemas anteriores, sempre mais caros, é a considerável simplificação no processo de fazer as terminações.

Com o sistema Mongoose, basta conectar um plugue RCA na entrada do transmissor e retirar o sinal do receptor com outro plugue RCA.

Simples, não?

Naturalmente o transmissor deve ficar próximo do aparelho fonte e o receptor próximo do aparelho carga, sendo os lances de cabos com os conectores RCA os mais curtos que a situação permitir.

A equipe técnica da AMS garante que os sinais de áudio processados pelo Mongoose não sofrem quaisquer degradações aparentes para lances de fibra de até 4 quilômetros.

Os esforços desses engenheiros são dignos de aplausos. Um dos problemas com as fibras era que, assim como um espelho reflete luz, as extremidades das fibras também o fazem. Essa reflexão ótica indesejável também é percebida como ruído. O que é bastante difícil e caro de evitar. O que a AMS fez foi circunscrever o problema de forma criativa, e dar uma solução integrada e barata, na etapa fibra-conector.

Este ainda não é um sistema devidamente testado, nem seu preço ainda é suficientemente baixo. Mas, a partir desse momento, crescem muito as perspectivas de uso mais popular da fibra ótica em áudio profissional num futuro menos remoto.

4.12 SISTEMAS DE MONITORAÇÃO DE PALCO E MIXERS PESSOAIS

4.12.1 O Início

Qualquer músico que já tenha tocado com uma banda, seja ela de apenas 3 ou 4 músicos, seja ela uma banda com dezenas de figuras, sabe que cada um dos músicos precisam se ouvir e ouvir a todos os demais. Ou não é possível tocar adequadamente, com compromisso para o resultado final. Isso também se aplica a vocais de quaisquer espécies.

No dia 4 de novembro de 1961 Judy Garland fez uma apresentação de gala no San Francisco Civic Auditorium. Na véspera da apresentação houve uma seção de ensaio, durante a qual a cantora reclamou todo o tempo dizendo que não conseguia se ouvir e nem podia ouvir os músicos que a acompanhavam. O som estava sendo provido pela McCune Audio, empresa fundada em 1932. Hoje em mãos do muito competente Allan McCune, neto do fundador. O pai de Allan, que além de prover o sistema de som também era o engenheiro de som do evento, teve a ideia de usar uma caixa acústica extra no canto frontal esquerdo do palco, apontando-a para Judy. Que ficou feliz da vida com o resultado.

Essa parece ter sido a primeira vez que se usou uma caixa monitora de palco em toda a história do áudio no mundo.

Pouco anos depois, em 1965, os Beatles se apresentaram no Shea Stadium em Nova Iorque. Nesse evento os músicos não foram assistidos por monitoração de palco. Atrás deles foram colocados os amplificadores Vox de 50 watts da guitarra rítmica de Lennon, da guitarra solo de Harrison, e do baixo de McCartney. Esse aparato era a um só tempo o sistema de reforço de som para os 52 mil presentes nas arquibancadas e a monitoração de palco para os músicos. Os dois microfones usados no palco e mais o microfone para a voz de Ringo eram mixados e o resultado injetado nas mesmas caixas acústicas Vox. Esse era o único mix utilizado.

Evidentemente, a qualidade oferecida aos espectadores e o retorno dado aos músicos era sofrível se comparada com os padrões atuais.

Mas é preciso entender que o que ocorreu naquele momento era como desbravar o oeste

selvagem e desabitado. Afinal, aquele era o primeiro grande evento musical que ocorria em local aberto, diante de uma plateia de dezenas de milhares de pessoas.

Na convenção da AES em San Francisco no ano de 1994, George Martin contou a mim e ao meu querido Solon do Valle que, depois da apresentação dos Beatles em 1965, os integrantes do grupo passaram a pedir insistentemente uma solução para a monitoração de palco. A inspiração para isso veio do evento de Judy Garland em 1961. Só que agora na forma de caixas acústicas usadas lateralmente no palco. Essas caixas ficavam orientadas para os músicos. O que acabou sendo chamado de side fill.

A técnica não era muito eficaz. Mas era melhor do que nada. Posteriormente, durante o festival de Woodstock, Abe Jacob, que mixou para Jimi Hendrix, para The Mamas and The Papas e para tantos outros astros e estrelas de primeira grandeza, usou a mesma técnica de side fill. Mas valendo-se de 12 caixas Altec Lansing A7, sendo 6 de cada lado do palco. Essas caixas eram alimentadas pelos mesmos mixes que os usados para prover o som FOH, já que naquela época os mixers não dispunham de mandadas específicas para retorno ou monitor de palco.

Voltando à apresentação de Garland no San Francisco Civic Auditorium, a solução dada por McCune era algo que ficava entre a monitoração frontal de palco e o side fill. Não tardaria a surgir a ideia de usar caixas frontais. Logo depois inclinadas para cima de modo a orientar os eixos principais dos falantes na direção dos ouvidos do músico atendido. O que, de certa forma, fazia com a caixa acústica monitora de palco só pudesse ser utilizada por um único músico. Em casos especiais por dois ou no máximo três músicos.

Por outro lado, havia muitos músicos que exigiam uma certa quantidade de caixas acústicas. Veja na figura 4.316. No lado esquerdo está a caixa acústica esquerda de um arranjo de duas caixas utilizadas em palco por Roberto Carlos durante muitos anos. No lado direito um palco ao ar livre com grande quantidade de caixas acústicas monitoras de retorno.



figura 4.316 caixa acústica esquerda de um arranjo de duas caixas utilizadas em palco por Roberto Carlos durante muitos anos, no lado esquerdo da figura; no lado direito um palco ao ar livre com grande quantidade de caixas acústicas monitoras de retorno acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Pois bem, o uso "individual" das caixas monitoras em palco podia chegar ao ponto em que se tinha tantas caixas monitoras de palco quanto eram os integrantes da banda. Até mesmo mais caixas do que pessoas em palco.

4.12.2 Os problemas

Nesse ponto exato começam a surgir muitos problemas colaterais.

4.12.2.1 Vazamentos Indesejáveis O primeiro desses problemas é que os microfones captavam não só as vozes dos vocalistas e os sons dos instrumentos, mas também o farto material acústico produzido pelas caixas acústicas monitoras. Comprometendo de forma brutal o resultado da mixagem final.

Esse problema passou a ser combatido com intenso treinamento técnico dos operadores e profissionais orbitando em torno dos sistemas, além do convencimento psicológico dos operadores de que era preciso manejar. Mas por mais que se maneirasse os vazamentos continuavam e a qualidade final sofria bastante com isso.

4.12.2.2 Nível de Som no Palco O segundo problema é que o nível de som em palco era tão elevado que cada músico de per si tinha muita dificuldade para ouvir o som de seu próprio monitor, que acabava sendo mascarado pelo complexo e confuso campo de som global que imperava no palco.

Este problema específico podia ser aliviado na medida em que a solução dada ao primeiro problema era mais eficaz. Complemento de solução foi o desenvolvimento de uma cultura de localizar melhor e aproximar mais os monitores dos ouvidos dos músicos. Fora isso, teve início a produção de caixas acústicas muito sensíveis. Infelizmente, isso que havia funcionado com a McCude pela intervenção brilhante de John Meyer, agora, caminhava na contramão da solução do primeiro problema. Como dizem, a necessidade é a mãe da criatividade. Nessa toada os fones de ouvido passaram a ser utilizados em palco como o limite da aproximação dos transdutores aos ouvidos dos músicos.

4.12.2.3 Prejuízo para o Som FOH

O terceiro problema é que o nível de pressão sonora em palco era tão elevado que muitas vezes o reforço de som para a plateia ficava totalmente mascarado pelo som do palco.

Claro que a qualidade sônica para a plateia era invariavelmente muito pobre. Até porque da maneira como era provida, fugia de qualquer possibilidade de dimensionamento.

Este problema veio e ficou como um bode na sala. Por anos a fio se conviveu com essa barbaridade.

Pessoalmente demonstrei para várias igrejas que os resultados para a plateia praticamente não se alteravam com o PA ligado ou com ele desligado. Então, aconselhava esses clientes ou a resolver o problema em palco ou a não investir num projeto sério com dimensionamento eletroacústico que não daria em nada. É óbvio que assim procedendo deixei de fazer muitos

projetos e dimensionamentos eletroacústicos. O lado bom é que, com toda a certeza, me livrei de muitos problemas que exigiriam explicações defensivas posteriores.

4.12.2.4 Declarada a Grande Guerra Palco X Plateia O quarto problema é que essas técnicas de prover monitoração de palco deflagraram uma verdadeira guerra entre o “som de palco” e o “som para a plateia”. Guerra essa em que todos perdiam, a começar pelo distinto público. Pois é!

A solução para essa mazela sônica veio automaticamente. Porque as pessoas passaram a reclamar cada vez mais do nível de pressão sonora absurdo a que ficavam submetidas. Entretanto, devo dizer que as respostas dadas foram apenas parciais. Mesmo hoje em dia você ainda pode ir a uma balada, a um espetáculo musical ao vivo ou a algumas igrejas e terá ideia do que é um nível de pressão sonora não civilizado. Veneno puro para a saúde auditiva das pessoas. Pior é que há leis que limitam isso. Mas quem se importa?

Por favor, cuide de sua audição. Nós, profissionais do áudio não podemos nos dar ao luxo de desperdiçar nosso bem maior, a audição.

4.12.2.5 Solicitações por Mixes Diferentes O quinto problema é que cada músico tinha preferências específicas e praticamente não havia acordo para que esse ou aquele “mix” fosse eleito como o que deveria ser enviado para as caixas monitoras.

Isso começou a ser resolvido com o aumento da capacidade de mandada dos mixers. Cada manda podia, então, encaminhar um mix diferente. O que já proporcionava algumas alternativas de escolha para os músicos. Mas ainda era pouco. Os fabricantes de mixers sentiram essa necessidade e foram aumentando a capacidade de mandada de seus produtos e, em muitos casos, equipando esses aparelhos com matrizes que eram cada vez mais potentes.

Essas mandadas devem ser sempre pre fader, de sorte que alterações eventuais dos níveis de som FOH não modifiquem a magnitude nem a estruturação dos mixes providos aos músicos. Pela mesma razão as mandadas para essa finalidade não podem estar sujeitas à equalização dos canais.

4.12.3 Nada se Cria, Tudo se Transforma (???) Os estúdios de gravação já utilizavam pequenos mixers junto aos músicos, de modo que qualquer artista pudesse ajustar não só os ingredientes do próprio mix, mas também o nível de pressão sonora entregue pelos fones de ouvido que utilizava. Os canais desses pequenos mixers era alimentado por um determinado mix proveniente do mixer principal do estúdio. Cada um desses mixes era formado por alguns canais, cuja escolha e níveis relativos são sempre objeto de ajuste entre o engenheiro de mixagem do estúdio e os músicos. Desequilíbrios eventuais entre vocais ou entre o conteúdo

de baixas frequências e a bateria, por exemplo, precisam ser retocados no mixer principal pelo engenheiro.

Os mini mixers mais antigos usados nos estúdios sofreram um grande avanço quando foram criadas entradas especiais para o próprio instrumento tocado pelo músico e, também, para seu microfone. Esta fórmula que muito agradou a todos foi logo apelidada de “more me”.

De olho num mercado muito promissor, os fabricantes se puseram a desenvolver produtos na linha dos mixers pessoais, do in-ear como complemento para os fones de ouvido, dos sistemas sem fio e, finalmente, dos sistemas baseados em aumentar brutalmente a capacidade dos mixes via uso de transporte de sinais feitos por cabos de rede. Tipicamente o UTP cat 5.

4.12.4 Mixers Pessoais 4.12.4.1 Furman HDS-16/HRM-16

Um bom exemplo de mixer pessoal é o Furman HDS-16/HRM-16, concebidos para ser um distribuidor de fones de ouvido em palco.

A parte inferior da figura mostra o HDS-16, ao qual são ligados até 16 mandadas do mixer principal. Esse componente de 2 UR de altura usualmente é instalado próximo do mixer FOH. Ao mesmo tempo ele alimenta até 8 mixers pessoais HRM-16, que é o componente na parte superior da figura 4.317.



figura 4.317 o mixer pessoal HRM-16 acima e a interface HDS-16 abaixo cortesia Furman Sound, Inc.

As ligações entre o mixer FOH e HDS-16 são analógicas e terminam no painel frontal do aparelho. Já as interligações entre o HDS-16 e os mixers pessoais são feitas com cabos e conectores Centronics, como na figura 4.318 que exibe o painel traseiro do HDS-16.



figura 4.318 painel traseiro da interface Furman HDS-16 com os conectores Centronics cortesia Furman Sound, Inc.

O mini mixer HRM-16 aceita 4 canais estéreo de áudio, ou 8 canais mono, sendo que todos os controles das entradas e do mix final entregue ao fone de ouvido são feitas pelo próprio usuário, de forma totalmente independente dos demais mini mixers.

O mesmo cabo que transporta os sinais de áudio para os mini mixers também transporta a alimentação CC para sua operação. Cada mini mixer dispõe de 2 conectores Centronics, o que permite a ligação daisy chain de mixers, até o máximo de 8 unidades na mesma configuração de rede.

Cada mixer desses trabalha com um ou com dois fones de ouvido, de sorte que cada rede comporta até 16 fones, disponibilizando 16 canais simultâneos de áudio.

O recurso talkback permite que os músicos se comuniquem com o operador do mixer principal e que se comuniquem entre si. No modo estúdio os músicos podem se comunicar como se utilizassem um sistema de intercom.

4.12.4.2 In-Ear

Lá pelas tantas chegaram os in-ear para uso em monitoração de palco. Por isso mesmo logo chamados de in-ear monitor. Como os da figura 4.319.



figura 4.319 in-ear customizado e moldado para atender a cada cliente pessoalmente cortesia EU – Ultimate Ears A técnica de usar esse tipo de transdutor é bastante antiga e utilizada em profusão pelas emissoras de TV há muitos anos.

Nos casos mais sofisticados os fabricantes se propõem a moldar os in-ear de sorte que o ajuste físico dos mesmos às orelhas dos usuários seja a melhor possível, maximizando o conforto na utilização desse corpo externo.

Uma das grandes vantagens desses produtos é que, graças aos avanços tecnológicos das técnicas de miniaturização, eles podem responder com facilidade ao espectro de 20 Hz a

próximo de 20 kHz, com impressionante precisão.

As sensibilidades usualmente superam os 100 dB SPL/mW e as impedâncias são tipicamente reduzidas, como 30 Ω @ 1 kHz.

Muitos in-ear são desenhados para que a capacidade de bloqueio de sons externos se aproxime dos 40 dB.

4.12.4.3 Sistemas sem Fio



figura 4.320 sistema de monitoração de palco sem fio baseado em in-ears cortesia Sennheiser O próximo passo foi a introdução dos in-ear sem fio para uso em palco. A figura 4.320 mostra o Sennheiser EW 300-2 IEM G3 – A Band, que trabalha na faixa de 516 a 558 MHz. Um autêntico representante desta categoria.

Esta é uma solução completa, já que o pacote inclui o transmissor, o kit GA 3 para montagem do transmissor em rack padrão 19 polegadas, dois receptores de corpo EK 300 IEM G3 com suas antenas e dois conjuntos de in-ear IE4. A Sennheiser oferece outras alternativas de frequências, a saber: B band 626 a 668 MHz e G band 556 a 608 MHz.

4.12.4.4 Sistemas Usando Cabos de Rede mixer pessoal AVIOM A360

A arquitetura básica deste sistema é como na figura 4.321.

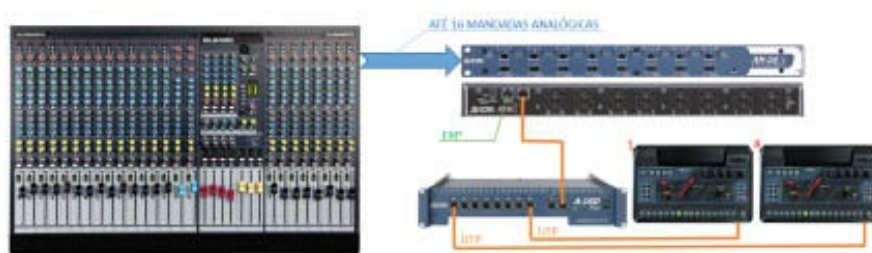


figura 4.321 arquitetura básica do sistema de monitoração pessoal de palco AVIOM A360 cortesia Audio Networking Technologies As mandadas analógicas do mixer FOH são encaminhadas para o módulo de entrada AN-16, visto na parte superior direita da figura 4.321. Alternativamente estas conexões podem ser feitas digitalmente.

É perfeitamente possível aumentar as mandadas para mais do que 16, bastando interligar um segundo módulo de entrada NA-16 com o primeiro. Os conectores para essa interligação são indicados na figura em cor verde, com o termo “EXP”.

A próxima interligação é feita do módulo de entrada para o distribuidor A-16D com um cabo UTO cat5.

Cada NA-16 pode alimentar até 8 mixers pessoais A360, sendo que a figura 4.300 mostra apenas 2 deles. Ambos no lado direito da parte inferior da figura.

Este sistema pode ser ampliado para limites típicos de sistemas de muito grande porte. Tanto em termos de mandadas, com por exemplo 64 mandadas, quanto em termos de quantidade de mixers pessoais.



figura 4.322 painel frontal do mixer pessoal AVIOM A360
cortesia Audio Networking Technologies A figura 4.322 mostra o painel principal do mixer pessoal A360 da Aviom.

mixer pessoal Hearback Technologies Este é outro sistema que de monitoração pessoal que se vale de interligações feitas com cabos UTP cat5.

As mandadas do mixer FOH são encaminhadas para o HUB que aparece na parte superior da figura 4.319. Este é um hub para até 16 entradas. Há um menor para até 8 entradas. Ambos podem ser facilmente expandidos por meio de interconexões tipo master/slave.

Desse ponto em diante os hubs alimentam diretamente os mixers pessoais, que podem ser de até 8 canais, como os que estão na parte inferior esquerda da figura, ou de até 16 canais, como os que estão na parte inferior direita da figura 4.323.



figura 4.323 componentes do sistema de monitoração pessoal; de palco da Hearback Technologies
cortesia Hearback Technologies As mandadas do mixer FOH são encaminhadas para o HUB que aparece na parte superior da figura 4.323. Este é um hub para até 16 entradas. Há um menor para até 8 entradas. Ambos podem ser facilmente expandidos por meio de interconexões tipo master/slave.

Este sistema é um de meus favoritos em razão do conjunto de recursos disponíveis. Inicialmente, o sistema Hearback pode ser ampliado virtualmente sem limites. Literalmente falando.

Os preços são acessíveis em comparação com sistemas similares. As distâncias possíveis das interligações são enormes sem perdas apreciáveis. Os hubs já vem equipados de fábrica com entradas digitais, que podem ser alimentadas diretamente do mixer FOH, eliminando, assim, as interligações analógicas provenientes das mandadas. O sistema possui DSP internos

para a função limitação. O que protege não só os fones de ouvido mas, principalmente, os ouvidos dos músicos. Os conversores DA e AD são todos de 24 bits. A latência é muito reduzida, tipicamente inferior a 1,5 milissegundos.

Os mixers possuem controles individuais de cada entrada, permitindo que o usuário customize seu próprio mix. Controles de volume master possibilitam o ajuste de ganho individual em cada mixer pessoal. Vários indicadores a LED de funções em atividade e de eventuais falhas, reportadas em tempo real. Saídas de linha balanceadas mono/estéreo, de grande utilidade prática para inúmeras funções. Entradas de linha auxiliares que permitem expandir localmente a quantidade de mixers pessoais e inserir itens como módulos eletrônicos, metrônomos, *etc.* A Hearback previu duas saídas para fones de ouvido em cada mixer. A impedância de carga pode variar de 8 a 600 Ω , sempre com distorção por intermodulação inferior à 0,03%.

mixer pessoal Roland, modelo M48

A Roland possui um sistema de monitoração de palco que também utiliza cabos UTP. Os mixers são o modelo M48, conforme figura 4.324.



figura 4.324 vista em perspectiva do mixer M48 à esquerda e painel traseiro à direita cortesia Roland Corporation A figura mostra uma vista em perspectiva do mixer M48 do lado esquerdo e o painel traseiro no lado direito.



figura 4.325 duas telas de configuração do mixer pessoal M48 cortesia Roland Corporation Já a figura 4.325 mostra duas telas diferentes usadas durante a etapa de configuração dos mixers M48.

Esses mixers podem ser ligados, em quaisquer quantidades, ao mixer Roland V-mixer, que é basicamente um mixer FOH. Neste caso, as interligações são de até 40 canais para cada um

dos mixers M48. Nos próprios mixers os usuários definem seus próprios mixes partindo de um mapa de canais muito simples e eficaz. Como sugere a figura 4.325.

Outrossim, os M48 também podem ser interligados a partir de quaisquer outros mixers analógicos ou digitais.

Apenas que nesse caso é preciso que haja uma interface. Uma das fórmulas para se chegar a isso é quando já se projeta, também, o sistema Snake Digital da Roland. Situação que abordei com detalhes no Capítulo1 – Sistemas de sonorização, tópico 1.2.6.4, de título IBN Vargem Grande, MT. Trata-se de um projeto e execução de minha autoria numa igreja, na qual utilizei exatamente o arranjo acima comentado.

O mixer especificado foi um Yamaha digital.

Também foi utilizado um sistema Snake Digital da Roland, que foi o gateway para a aplicação da monitoração pessoal de palco com muitos mixers M48.

Bem caro leitor, creio que isso é o suficiente para dar uma visão geral do sistema de monitoração de palco, cujo termo na Inglaterra é “foldback”.

4.13 BASTIDORES (RACKS) E ACESSÓRIOS

4.13.1 Bastidores e Pertences



figura 4.326 aspecto geral de um bastidor 19” Taunus, modelo Miracel, construído conforme norma DIN 41494, grau de proteção IP 55 (fornecido com espaço útil interno de 23 a 46 UR) cortesia Metalúrgica Knurr - Brasil Bastidor, ou rack, é um gabinete em forma de armário, destinado a abrigar aparelhos de sistemas profissionais, inclusive os de sonorização.

Há diversas formas de se construir os bastidores.

A mais comum delas utiliza uma estrutura formada por quatro perfis verticais, dois frontais e dois traseiros, e mais oito perfis horizontais, quatro deles formando um quadro inferior, com os outros quatro formando um quadro superior.

Além disso, os bastidores possuem chapas laterais de fechamento, tampas superior e inferior, além de portas frontal e traseira.

A figura 4.326 mostra o aspecto geral de um bastidor.

Num sistema profissional qualquer, as principais funções de um bastidor são:

- servir como suporte mecânico para os aparelhos, protegendo-os contra danos físicos
- funcionar como uma blindagem eletromagnética
- possibilitar a organização coerente dos aparelhos e respectivas fiações

Há alguns padrões internacionais para bastidores. Neste trabalho vamos considerar apenas o padrão EIA-RS-310-C, especificado pela Electronic Industries Association, dos Estados Unidos. O documento, intitulado **Bastidores, Painéis e Equipamento Associado**, procura assegurar a compatibilidade entre os próprios bastidores, e os equipamentos a serem montados neles. Os principais aspectos abordados neste padrão são:

- os bastidores devem aceitar painéis padronizados de equipamentos com as seguintes larguras: 19 polegadas (482,6 mm), ou 24 polegadas (609,6 mm), ou 30 polegadas (762,0 mm).
- os bastidores devem aceitar painéis padronizados de equipamentos com alturas de 1 UR e múltiplos inteiros (1 unidade rack equivale 1 3/4 polegadas, ou 44,45 mm)
- os painéis devem ser montados em trilhos laterais dispostos verticalmente na parte frontal dos bastidores
- o espaçamento horizontal líquido entre os trilhos verticais, isto é, a abertura frontal entre os trilhos, é 17 3/4 polegadas, ou 450,9 mm.
- o espaçamento horizontal entre os furos dos trilhos verticais é de 18 5/16 polegadas, ou 465,1 mm
- o espaçamento vertical entre os furos nos trilhos deve obedecer a uma das duas condições ilustradas na figura 4.325
- os furos de fixação nos trilhos podem ser punçoados (diâmetro 7,1 mm $\pm$ 0,1 mm), ou rosqueados (10-32 classe UNF 2B, ou 12-24 classe UNC 2B, ou M5, ou M6). Eles também podem ser oblongos (10,31 mm x 7,06 mm, com centro afastado de 8,5 mm da borda vertical do painel)

Para que o suporte mecânico seja eficaz, os aparelhos deverão estar rigidamente fixados no bastidor.

A forma de fazer isso é fixando individualmente cada aparelho através de seu painel frontal nos perfis verticais frontais do bastidor.

É por isso que esses perfis são perfurados. A fixação deve ser feita necessariamente com parafusos, arruelas e porcas.

Isso funciona muito bem para aparelhos leves.

Quando os aparelhos são relativamente pesados, é sempre conveniente suportá-los com trilhos adicionais, que podem ficar dispostos lateral e longitudinalmente, aparafusados entre os perfis laterais frontais e os traseiros, ou ainda em perfis verticais auxiliares, existentes para isso mesmo e para suportar uma grande série de pertences.

Assim, o peso dos aparelhos fica distribuído entre os perfis frontais e traseiros do bastidor, ou entre estes e os perfis auxiliares, com considerável redução de esforço físico aplicado ao próprio painel frontal do aparelho.

Para que os bastidores se comportem como blindagens eletromagnéticas, é imperativo que sejam metálicos.

O áudio profissional não admite a utilização de racks de madeira, nem de acrílico, nem de plástico, ou de quaisquer outros materiais que não sejam metálicos.

A organização coerente dos aparelhos no bastidor é apenas uma questão de como eles são

dispostos no sentido vertical.

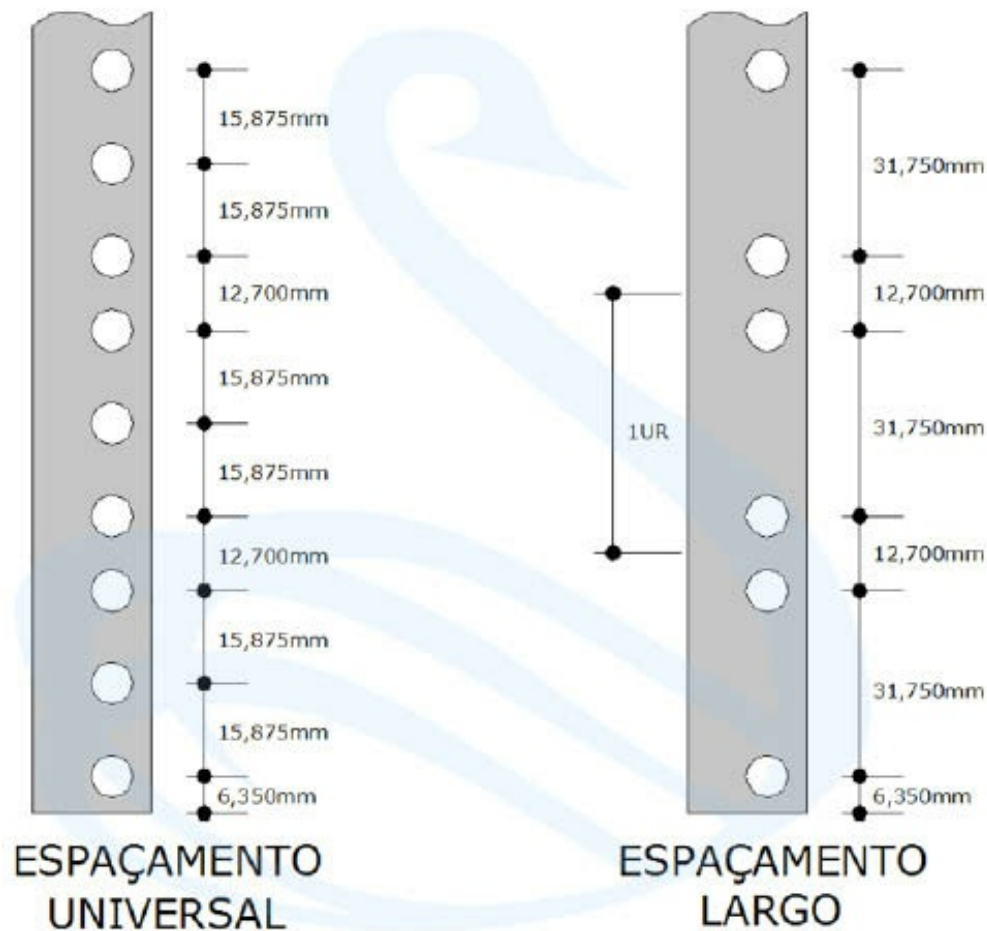


figura 4.327 espaçamentos verticais entre furos dos trilhos de bastidor, padronizados pelo RS-310-C acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma vez que as interligações são feitas na parte traseira de cada bastidor, é conveniente que, tanto quanto possível, a ordem de disposição siga a sequência física das interligações dos sistemas. Outro aspecto que não pode ser confundido como regra geral e imutável.

Os aparelhos são inseridos nos bastidores pela parte frontal.

Uma vez que eles já estejam instalados e cabeados, sua retirada, por exemplo para manutenção, é bastante simples.

Basta desconectar os correspondentes cabos, soltar os parafusos de fixação, e retirar os aparelhos.

Isso significa que os cabos podem ser arranjados de maneira permanente no bastidor. O que facilita muito sua organização. Geralmente eles são amarrados com barbante encerado, ou presos com alças de nylon.

Os bastidores de uso mais comum são os autoportantes, os portáteis, os protegidos, e os de tipo mesa de laboratório.

Os autoportantes podem ser abertos, fechados, simplesmente apoiados no solo, permanentemente fixados no solo, e fixados em paredes, com ou sem seções basculantes.

Os portáteis possuem pedestais com rodízios, e podem ser facilmente deslocados sobre o piso. Os bastidores protegidos são de fabricação especial, e a proteção pode ser projetada para manipulação durante transportes e contra choques mecânicos.

Os bastidores tipo mesa de laboratório são utilizados quando o operador do sistema trabalha sentado durante a maior parte do tempo, precisando de acesso constante a parte dos equipamentos do sistema.

Com relação à altura dos bastidores, como rotina eles são fabricados com alturas úteis líquidas desde 20 UR (889,0 mm) até 44 UR (1.955,8 mm), com incrementos típicos de 4 UR. Outrossim, qualquer fabricante pode estudar a possibilidade de fabricar racks com alturas customizadas e combinar uma série de recursos disponíveis como complementos opcionais.

Portanto, é sempre possível encomendar bastidores com quaisquer outras alturas que não as rotineiras, como por exemplo 62 UR.

Os bastidores em si são inúteis se não estiverem equipados com os pertences necessários para a fixação dos aparelhos, para o aterramento, para a gerência de cabos, para a organização interna de tudo o que abrigado em seu interior, além de itens que facilitam todas as tarefas de montagem.

Aqueles que quiserem entrar mais a fundo no assunto racks e bastidores, pode entrar na Internet e tentar baixar um catálogo de qualquer fabricante, ou procurar um site de fabricante de primeira linha que ofereça informações, alternativas de downloads de papéis técnicos e que possibilite ao usuário entender um pouco melhor sobre o tema.

Nesse particular, recomendo os sites da Middle Atlantic e o Lowell Manufacturing, que são www.middleatlantic.com

www.lowellmfg.com

Os pertences mais comuns dos bastidores são:

- porta traseira metálica, com fechadura, que deve permanecer sempre fechada, sendo aberta apenas durante eventuais serviços de manutenção
- porta frontal, também equipada com fechadura, para que permaneça fechada. Ela só deve ser utilizada durante ajustes de rotina e serviços de manutenção, ou durante aplicações do sistema que exijam ajustes operacionais. Estas portas podem ser metálicas, ou com quadro metálico e acrílico cristal ou fumê. Esta última alternativa é tecnicamente sempre menos desejável, mas bastante útil quando se pretende que o operador tenha acesso às informações visuais dos aparelhos contidos nos bastidores
- jogo de rodízios, que permite a movimentação do bastidor (deve ser especificado de acordo com o peso do bastidor equipado, e levando-se em conta o grau de dureza desejado para o material externo das rodas)
- sistema de aterramento interno (barras de cobre perfuradas, às vezes com roscas)
- sistemas de refrigeração
- calhas metálicas com tomadas CA para energização
- trilhos para suporte dos aparelhos pesados
- hastes verticais e horizontais para amarração de cabos, que são fixadas horizontalmente nas partes posteriores e laterais dos bastidores.
- lâmpadas internas (apenas as aprovadas pelo UL)
- prateleiras e bandejas fixas e móveis, tipo gaveta
- painéis cegos para fechamento frontal, com e sem puxadores. São fabricados com diversas alturas, desde 1 a 10 ou mais UR.
- parafusos especiais, com cabeça panela de fenda convencional (não recomendados), com cabeça Phillips e com cabeça hexagonal
- porcas especiais com berços metálicos ou de nylon
- bandejas especiais de fixação
- porta documentos
- outros

4.13.2 Acessórios

4.13.2.1 Amplificadores de Distribuição Muitas vezes é preciso ligar a saída de um aparelho a diversas entradas de muitos outros aparelhos.

As pessoas são levadas intuitivamente a ligar todas essas entradas em paralelo. Como veremos em outro capítulo, isso pode ou não trazer problemas de interligação. É por isso que existem os amplificadores de distribuição. Como o nome sugere, eles possuem uma única entrada, da qual são reproduzidas várias saídas, de modo que as ligações podem ser feitas com segurança, correção técnica e facilidades mecânicas.

Os amplificadores de distribuição são projetados de acordo com cada aplicação específica. Assim, podem ser apenas redes resistivas ajustando impedâncias e níveis de sinais. Os mesmos resultados também podem ser obtidos com transformadores. E também é possível construir amplificadores de distribuição eletronicamente. Então, cada entrada eletronicamente balanceada dá origem a várias saídas, também eletronicamente balanceadas.

Além dessas alternativas, é possível utilizar um booster de baixa impedância de saída, tipicamente 50 ohms ou menos. Como veremos adiante, essa é uma forma muito eficaz de fazer interligações. A figura 4.328 ilustra um desses circuitos.



Imagine um sistema de reforço de grande porte, que trabalha com 3 consoles de mixagem. Uma para a frente da casa. Outra para a monitoração de palco, e outra para mixagem dos sinais utilizados por emissoras de rádio e/ou TV. E cada operador quer trabalhar com os sinais originais de cada um dos microfones utilizados, de forma que possa mixar de seu próprio jeito.

Como cada microfone só gera uma única saída, é preciso encontrar uma forma de obter três sinais independentes de cada microfone. O que é a função dos splitters de microfone. Esses acessórios podem ser construídos para trabalhar com qualquer quantidade de entradas, e para cada entrada pode haver duas ou mais saídas.



figura 4.330 o DN1248 Plus da Klark Teknik cortesia Klark Teknik Os melhores splitters são construídos com transformador. A figura 4.329 mostra o esquema simplificado de um splitter a transformador com uma entrada, uma saída direta e três saídas isoladas.

Já a figura 4.330 mostra um dos mais requisitados splitters ativos de microfones de todos os tempos. Lá está o Klark Teknik DN1248 Plus, com seus 12 canais de entrada e 5 saídas para cada entrada.

4.13.2.3 Direct Boxes Direct box é o dispositivo que converte sinais de níveis relativamente elevados, não balanceados, em sinais de baixos níveis, balanceados.

Sua função básica é compatibilizar as saídas de instrumentos elétricos e eletrônicos com as entradas de microfone das consoles de mixagem, de modo que os sinais possam ser transportados através de linhas balanceadas. Naturalmente as consoles podem receber os sinais desses instrumentos diretamente.

Porém, as entradas serão as de linha, e as interligações não serão balanceadas. E isso definitivamente impõe uma série de restrições, a começar pela limitação do comprimento da linha. Ao menos se a qualidade deve ser preservada.

Em palco, muitos músicos preferem que seu retorno seja dado pelo próprio amplificador do instrumento, e não por mandadas da console. Por isso, a maioria das direct boxes possui uma saída na qual o sinal de entrada do instrumento é duplicado. O que possibilita ligar o amplificador do instrumento.

A figura 4.331 mostra uma direct box.



**figura 4.331 aspecto de uma direct box Klark Teknik, modelo DN100
cortesia Klark Teknik 4.13.2.4 Interfaces**

Genericamente falando, interface é qualquer dispositivo que permita ligar dois ou mais equipamentos entre si, não interligáveis em condições normais, ou interligáveis com incompatibilidades.

Nesse sentido, splitters de microfones e direct boxes também são interfaces.

A Cysne Sound Engineering tem recebido um sem número de consultas para integrar sistemas de distribuição de música ambiente a sistemas de supervisão predial de prédios modernos de escritórios.

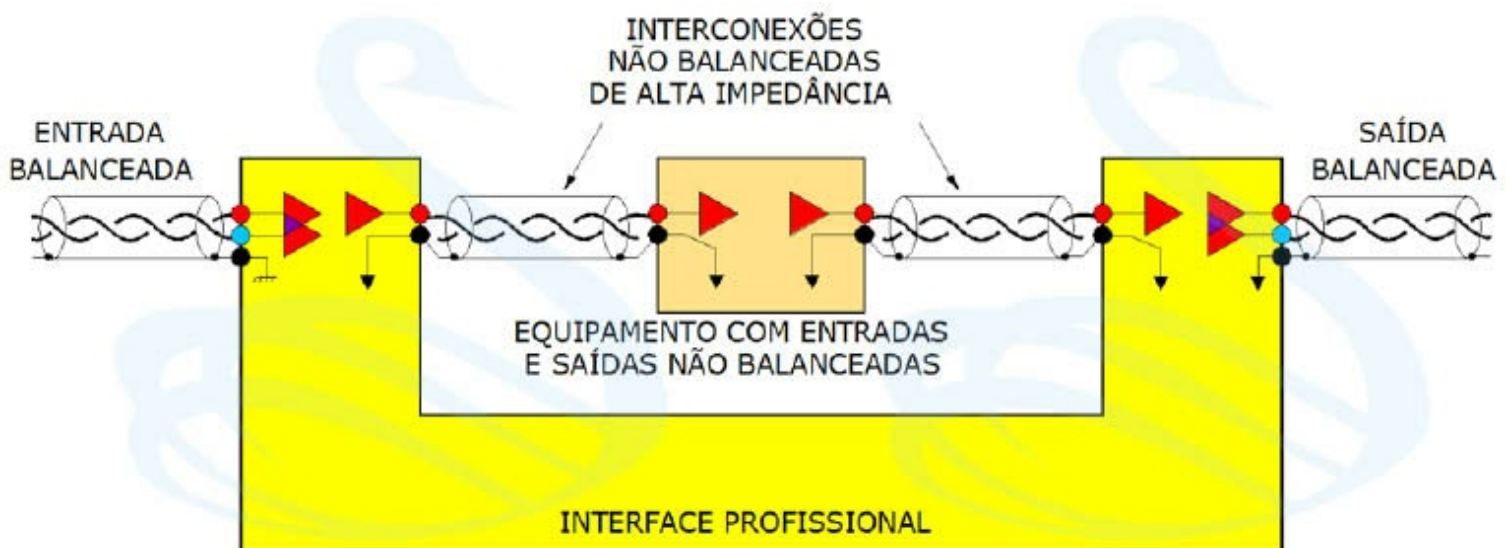


figura 4.332 diagrama de blocos simplificado de uma interface profissional acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O objetivo disto é que, em ocasiões de emergência, como incêndios e invasão dos prédios, o sistema de áudio deixe de distribuir música e seja um meio de transporte de avisos de emergência, de evacuação do prédio, de orientação para as pessoas, e assim por diante.

Evidentemente, é sempre desejável que mensagens gravadas digitalmente possam ser dirigidas automaticamente para setores específicos, com capacidade para várias mensagens simultaneamente.

Nessas condições, é indispensável usar um computador com todos os recursos de programação. O que requer interfaces.

E este é um exemplo típico de aplicação de interface.

Há uma interface muito utilizada nos sistemas profissionais de áudio, que é a chamada interface profissional.

Sua função é possibilitar a ligação de equipamentos com saídas e entradas não balanceadas a um sistema totalmente balanceado.

A figura 4.332 ilustra a ideia.

4.13.2.5 Matrizes

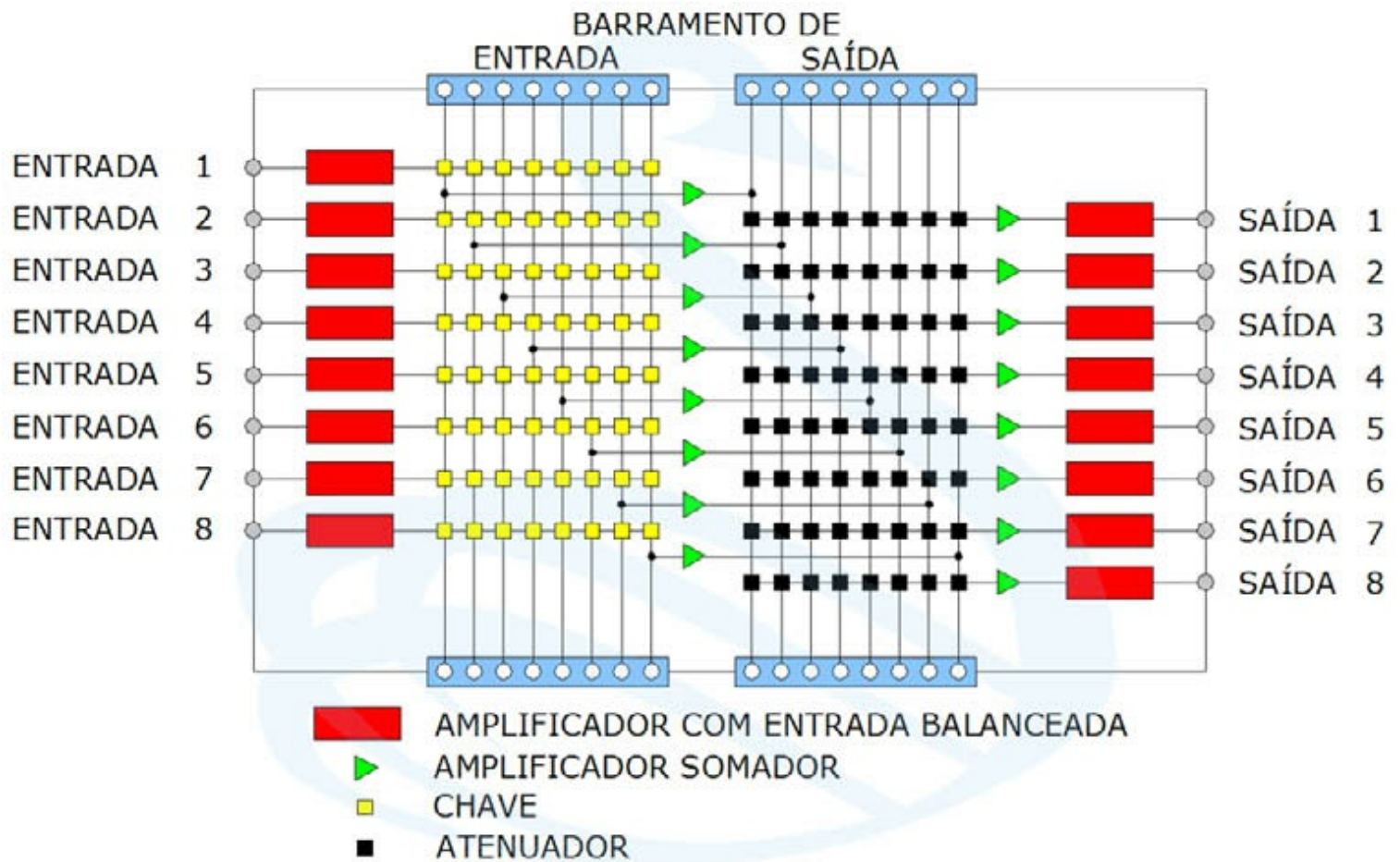


figura 4.333 esquema básico de uma matriz de áudio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Já vimos o que são matrizes. Mas também ficamos de discutir o assunto com mais detalhes. E a hora é esta.

Colocado de uma forma bastante simples, matriz é um dispositivo com algumas entradas e algumas saídas.

A circuitação é tal que é possível fazer a ligação de qualquer entrada com qualquer saída, ou grupos delas.

Vejamos isso com o auxílio do desenho da figura 4.333.

As linhas horizontais representam as entradas, e as verticais as saídas.

Há vários pontos de cruzamento entre as linhas horizontais e verticais.

Se imaginarmos que essas linhas são condutores elétricos, basta que curto-circuitemos qualquer ponto de cruzamento para ligar uma entrada desejada a uma saída específica. As matrizes operam dessa maneira, apenas que os curtos são promovidos por relés eletrônicos.

O controle de endereçamento das matrizes pode ser feito manualmente ou através de computadores.

A figura 4.334 mostra uma matriz utilizada em sistemas profissionais de áudio.



figura 4.334 matriz de comutação projetada para uso em áudio profissional, modelo 6400 cortesia Extron Electronics As matrizes encontram inúmeras aplicações no áudio profissional. Há consoles de mixagem, especialmente para aplicação em teatros, onde já são encontrados módulos de matriciação como parte da própria console.

Há sistemas que exigem grande flexibilidade de roteamento, bem como há sistemas projetados para reforço de som em centros de convenção com salas múltiplas, que geralmente requerem matrizes de comutação com elevada capacidade de entradas e de saídas.

Muitos fabricantes projetam seus produtos de forma que eles possam ser ampliados em termos de aumento de capacidade de entradas e/ou saídas.

A matriz da figura 4.334 pode ter configuração inicial de 8 entradas x 8 saídas, e ser ampliada até 64 entradas x 64 saídas. Sua capacidade nativa de presets é 100 cenários completos.

A matriz da figura 4.335 é uma das muitas implementações de matriz de áudio no domínio digital.

Como se percebe pelo desenho, as entradas e saídas são analógicas.

O que significa que o aparelho utiliza conversores AD nas entradas e conversores DA nas saídas.

Esta matriz suporta um máximo de 32 canais locais, cuja arquitetura pode ser facilmente configurada em campo.

Todos os recursos de monitoração frontal ajudam bastante a tarefa de configuração e de ajustes.

O software, muito poderosos e de fácil comunicação, é mais um ingrediente que ajuda muito com as tarefas de campo.

Tendo utilizado esse produto em algumas instalações de grande porte, posso lhes dizer que é um equipamento muito amigável.



figura 4.335 matriz de comutação digital projetada para uso em áudio profissional, modelo NetMax N8000
Cortesia Bosch ElectroVoice



figura 4.336 vista parcial de rack, parte do sistema de reforço de som que instalamos no Gran Teatro Nacional, Lima, Peru acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outrossim, a capacidade pode ser facilmente ampliada por simples adição de unidades. Como mostra a figura 4.336, onde se pode ver três unidades NetMax N8000, conjunto esse com capacidade total de 96 canais. O rack dessa figura é parte do sistema que instalamos no Gran Teatro Nacional, em Lima, Peru.

As matrizes também fazem parte de muitos mixers. Quem implementadas analogicamente, quer implementadas digitalmente, como no mixer da mais nova geração da Yamaha, o PM10. São 32 vias independentes de matriciação.

4.13.2.6 Patchbays

Nos sistemas de áudio de pequeno porte as ligações geralmente são diretas e objetivas. Isto é, os equipamentos são ligados diretamente uns nos outros, em sequência. Saídas para entradas. O que resulta numa configuração fixa.

Entretanto, como regra geral os sistemas de portes médio e grande exigem mais flexibilidade do que isso.

Inicialmente, a maioria deles costuma ser utilizado numa grande gama de aplicações. Isto implica na necessidade de se trabalhar com configurações diferentes. Além disso, a monitoração das entradas e das saídas dos equipamentos é um requisito praticamente indispensável. E finalmente, é preciso dispor de defesas em casos de falhas de equipamentos. Por exemplo, a substituição tão imediata quanto possível do item defeituoso, por outro, reserva.

O estágio contemporâneo de avanço da eletrônica, notadamente em seu segmento digital, já permite há muito que todas essas funções e requisitos sejam resolvidos por comutação, com o uso das matrizes. Que sem dúvida, podem ser construídas com um sem número de recursos, e a preços bem acessíveis.

Mas por mais estranho, surpreendente e admirável que possa parecer, os patchbays ainda são empregados com grande preferência sobre as matrizes. E com isso, eles fazem parte de um enorme contingente de sistemas de áudio de todos os portes. Como uma espécie de cultura calcada em técnica algo arcaica, mas sem dúvida bem sucedida. Provavelmente essa é a principal razão pela qual não se abre mão dos patchbays.

Sendo assim, creio que este é o momento oportuno para tratarmos, pelo menos, do que há de mais básico sobre o assunto.

Campo de jaques (jackfield), campo de conexões (patchfield) e seção de conexão (patchbay), são termos usados de forma intercambiável. Por respeito aos costumes, passo a utilizar a seguir o termo que parece ter sido eleito o mais comum, e de longe, o mais utilizado no Brasil e no exterior: patchbay.

Qualquer que seja o termo empregado, o significado é sempre o mesmo. Um grupo de conectores, dificilmente menos do que 24 deles, montados numa ou duas fileiras horizontais, como ilustra a figura 4.337.



figura 4.337 aspecto de um Patchbay cortesia Audio Accessories, Inc.

O elemento fundamental de qualquer patchbay é um tipo muito conhecido de conector, de 2 ou de 3 contatos, como ilustra a figura 4.338. Na parte direita da figura estão os conectores telefônicos (padrão militar) de 6,4 mm (1/4 de polegada), e na parte esquerda vemos sua versão reduzida, os conectores Bantam, de 4,45 mm (0,175 de polegada).



figura 4.338 conectores de 3 contatos de 6,4 mm e de 4,45 mm (Bantam) cortesia Audio Accessories, Inc.

Mas esperem. O objetivo aqui é esclarecer. E creio que devo fazer isso já a partir dos conectores. Há duas variedades de conectores de 6,4 mm fisicamente muito similares, mas de qualidades consideravelmente diferenciadas.

O conector telefônico, de mais qualidade, é o resultado do desenvolvimento da indústria telefônica, que buscava solução para as comutações manuais que tinham que ser feitas nas mesas telefônicas de “pega”. Para uso muito intenso, tais conectores foram concebidos e projetados para durar literalmente milhões de inserções/retiradas. Para tanto, eram e ainda são fabricados em latão maciço usinado.

A outra variedade, que é conector Phono de 6,4 mm, foi desenvolvido pela indústria do áudio para aplicações gerais. Neste caso, o conector pode ser fabricado numa grande variedade de metais, geralmente o aço, recoberto com uma fina camada externa de níquel ou de cromo. As tolerâncias dimensionais dos conectores phono são bem menos rigorosas do que as do tipo telefônico.

Os conectores da figura 4.335 são do gênero fêmea, também chamados jaques. Já os da figura 4.336 são do gênero macho, ou plugues.

Nestes plugues de três contatos, nota-se claramente as posições físicas dos contatos propriamente ditos.

Um na extremidade, outro na parte central, e o maior deles, que é o prolongamento da capa do conector. Esses três contatos são respectivamente denominados P, para ponta (tip), A, para anel (ring), e M para manga (sleeve). Nota-se que os contatos são separados por isolantes. Nos plugues de dois contatos não há o contato A.

Essa mesma denominação dos contatos é aplicável aos jaques.

Os conectores telefônicos e phono de 6,4 mm não são compatíveis entre si porque o contato P deste último é ligeiramente maior do que o do primeiro.

Para efeito desta nossa discussão, vamos considerar apenas os conectores com três contatos, isto é, P, A e M.

A foto superior da figura 4.339 mostra o mais simples de todos os jaques telefônicos. Trata-se de um modelo de 2 contatos. O contato central é denominado ponta (P) e o outro é denominado manga (M). Portanto, o jaque é conhecido como PM, para ponta/manga. Em inglês, ele é chamado de TS, para tip/sleeve.

Na foto central da figura está o jaque de 3 contatos, denominados ponta, anel e manga. Ele é chamado PAM. Em inglês, TRS, para tip/ring/sleeve. A foto mostra também contatos auxiliares, denominados contatos normais.

Observe bem a figura e você verá que um contato normal é ligado à ponta e o outro ao anel. Quando o plugue é inserido no jaque, essas duas ligações normais são desfeitas.

O contato normal ligado à ponta é o contato PN - NT em inglês - e o ligado ao anel é o AN - NT em inglês. A foto inferior da figura é a versão Bantam da foto central.



figura 4.339 tipos diferentes de jaques telefônicos de três contatos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Além disso, os jaques podem ser equipados com uma grande variedade de contatos auxiliares de comutação, tipo NA (normalmente aberto), ou NF (normalmente fechado), ou contatos de transferência, ou ainda, combinações. Como ilustram as figuras 4.340.A até H.

Nessas representações, o número 1 indica o terminal M, onde é sempre ligado o terra. O número 2 indica o terminal P, onde é sempre ligado o sinal de uma ligação não balanceada e o sinal +, ou positivo, ou fase de uma ligação balanceada.

O número 3 indica o terminal A, onde é sempre ligado o sinal -, ou negativo, ou antifase de uma ligação balanceada. Os demais terminais, designados pela letra T de terra, e 1 e 2, todos seguidos por sufixos, inclusive o com a letra n, designam contatos normais associados à manga

(terra) e terminais 1 e 2.

Com relação aos patchbays, há uma incrível gama de possibilidades de formas diferentes de fazer as ligações.

Por questões de espaço vamos nos limitar a apenas quatro delas, que correspondem aos tipos mais utilizados na prática.

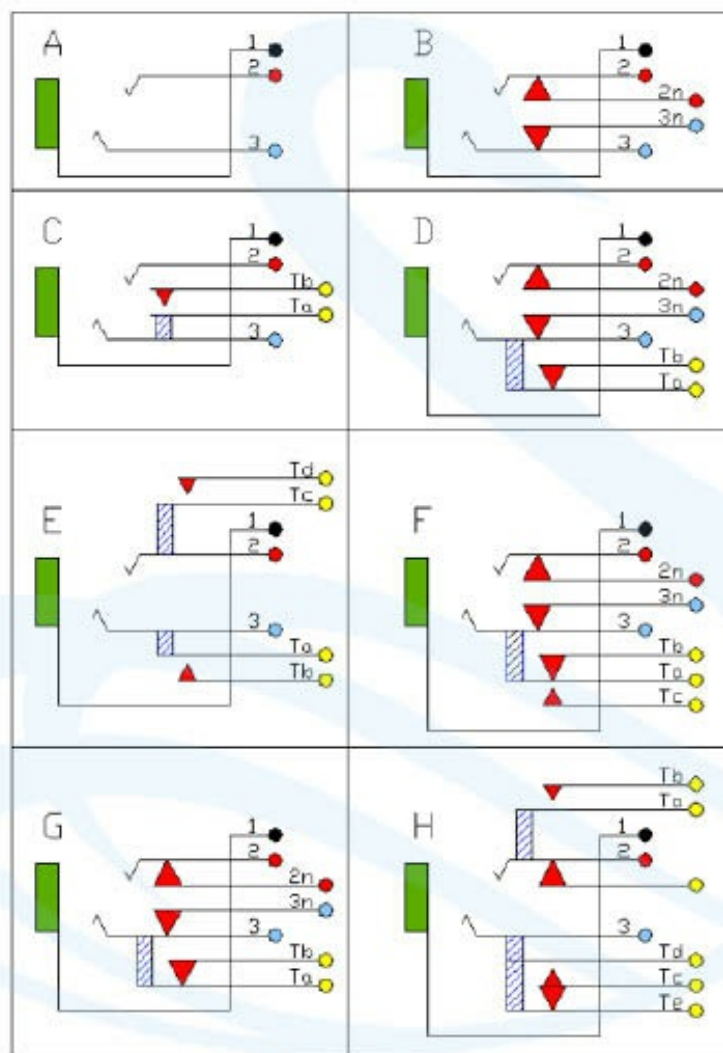


figura 4.340 várias configurações de jaques PM/PAM, em suas representações gráficas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne meio normal

A figura 4.341 esquematiza o arranjo meio normal.

Nota-se que os terminais P, A e M são ligados à saída do aparelho fonte, para a qual se deseja o acesso, enquanto os terminais PN e AN são ligados à entrada do aparelho carga.

Desse modo, não há acesso às interligações feitas através dos contatos PN e AN.

Também é possível utilizar o arranjo meio normal com os contatos P, A e M ligados à entrada do aparelho carga, e os terminais PN e AN ligados à saída do aparelho fonte. Neste caso, o que se deseja é o acesso à entrada da carga.

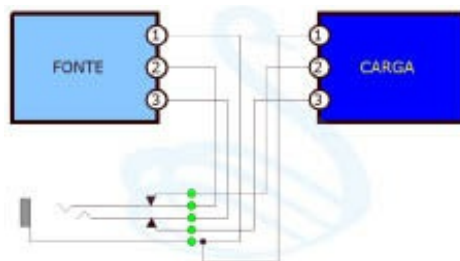


figura 4.341 arranjo meio normal acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne jaque monitor

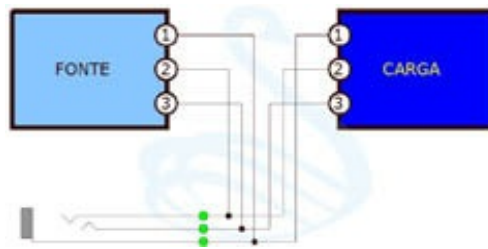


figura 4.342 arranjo jaque monitor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esse arranjo, também chamado de listen jaque, é o que representa a figura 4.342.

Nesta versão, o fluxo de sinais jamais é interrompido. Mas ainda assim, a linha pode ser monitorada.

Outra possibilidade do arranjo jaque monitor é permitir que a saída do aparelho fonte possa alimentar duas entradas independentes de carga, então ligadas em paralelo. Uma destas pode ser, por exemplo, a entrada de um instrumento de teste.

jaque monitor/meio normal

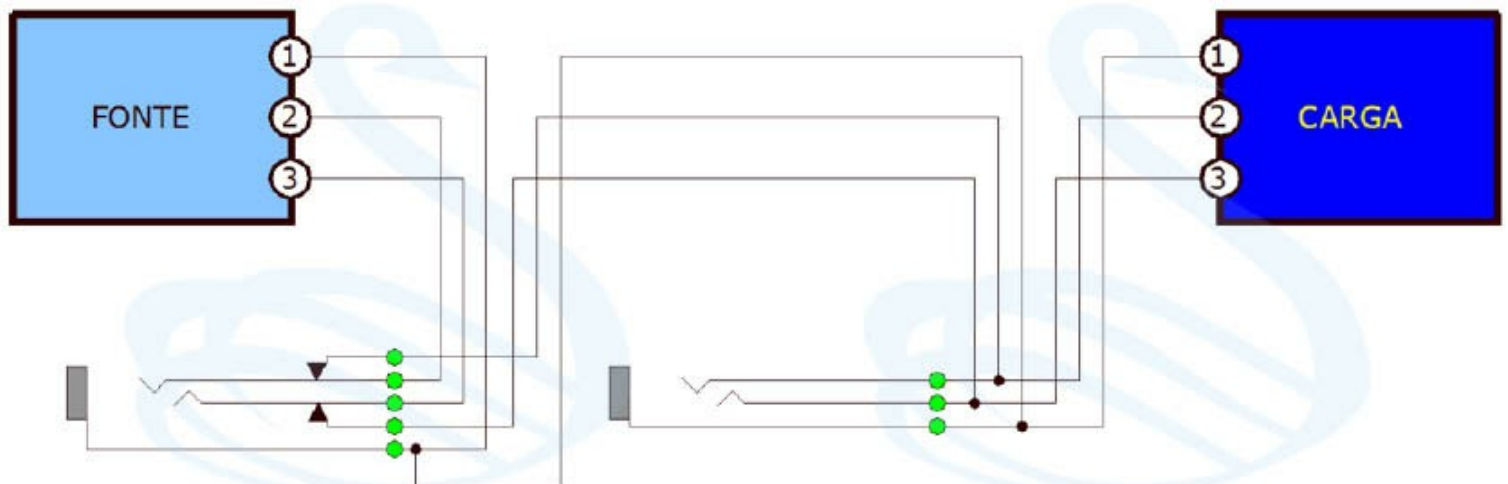


figura 4.343 arranjo jaque monitor/meio normal acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 4.343 mostra o arranjo jaque monitor/meio normal.

Certamente este é um dos arranjos mais flexíveis de patchbay. Com efeito, dessa maneira, é possível monitorar a linha, endereçá-la para uma entrada adicional sem que o circuito seja afetado, e ainda, alimentar a entrada por outra saída. Ao que se chama conexão cruzada.

Tudo isso é possível porque se utiliza um jaque monitor na saída, e um meio normal na entrada.

Tal arranjo não é recomendado para ligações de microfones.

normal completo

Este arranjo, muito apreciado, é como mostra a figura 4.344. São utilizados dois jaques

com contatos normais, numa ligação costa-costa. Isto é, os terminais P, A e M de um conector são ligados à saída da fonte, enquanto os terminais P, A e M do outro conector são ligados à entrada da carga. Ao mesmo tempo, os contatos PN e AN dos dois conectores são interligados.

O arranjo normal completo possibilita o acesso da saída, da entrada, e de ambos. Contudo, a monitoração da linha só é possível se o circuito for interrompido.

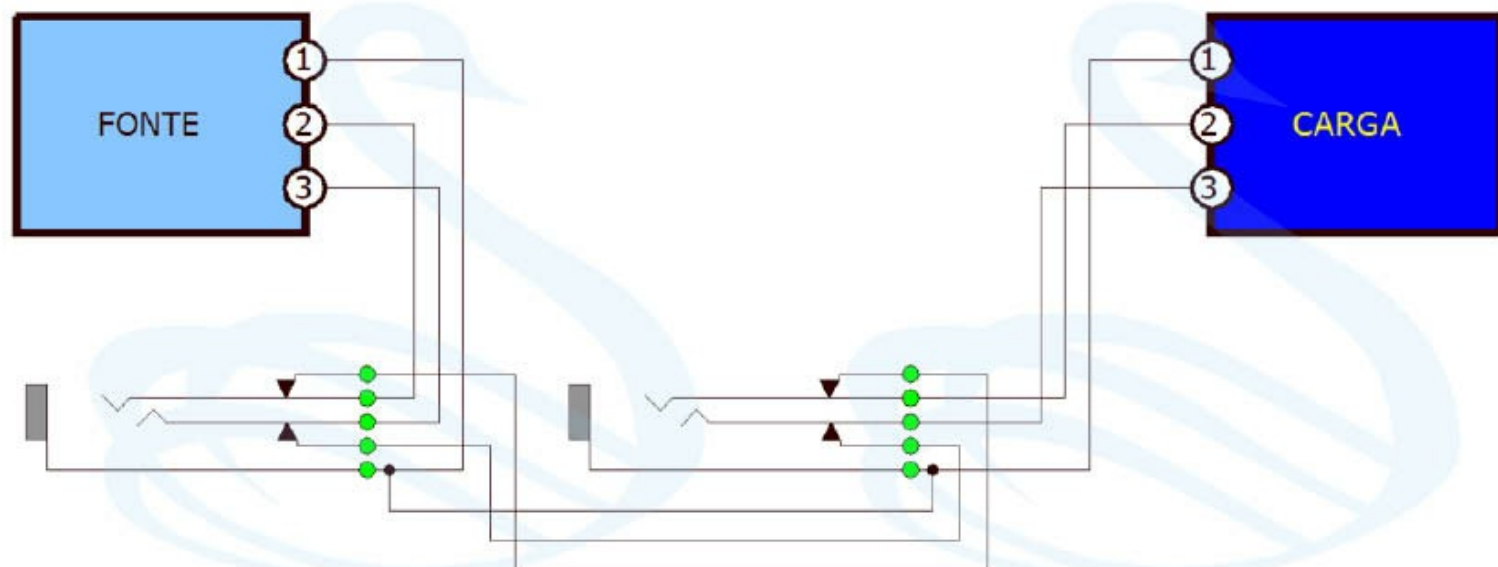


figura 4.344 arranjo normal completo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne representação elétrica

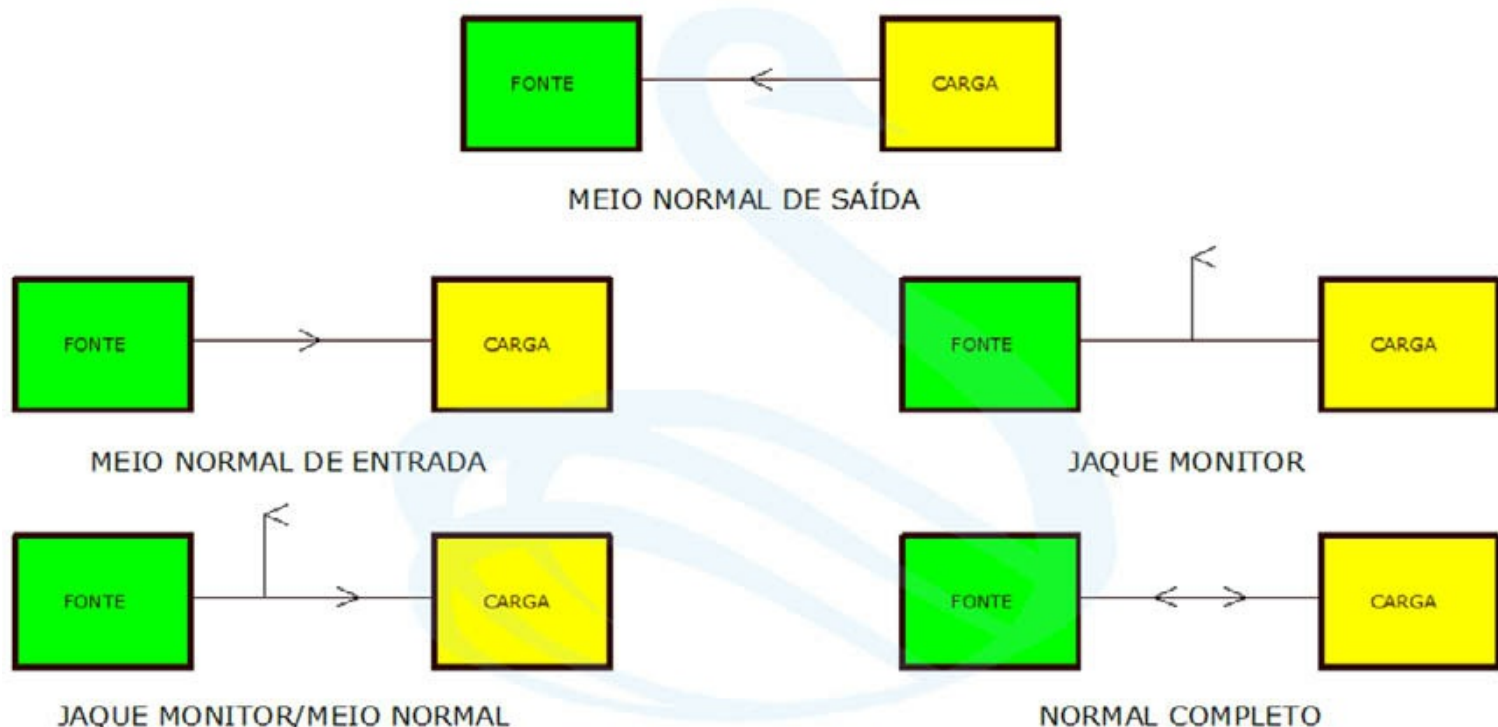


figura 4.345 representações elétricas de alguns arranjos de patchbays acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As representações gráficas são muito úteis em toda a eletrônica, e também no áudio. Mas quando o assunto é patchbays, então essa verdade torna-se praticamente uma necessidade.

Já vimos antes as representações dos conectores, de per si.

Agora, estamos interessados em ver como são representados os arranjos possíveis feitos com os patchbays.

Para tanto, vamos nos valer da figura 4.345, que mostra cinco arranjos entre muitos possíveis. Os desta figura são dos mais utilizados na prática.

acesso e cordões de conexões O acesso a qualquer dos arranjos é feito com plugues.

Na maioria das vezes, usam-se cordões de conexões (patchcords), que são cabos de par torcido com blindagem, terminados com os plugues em suas duas extremidades.

Na maioria das vezes a montagem dos cordões de conexão é dupla, como mostra a figura 4.346.

Existem cordões pré fabricados em vários comprimentos. As escolhas são feitas com base nas necessidades efetivas de cada caso.



figura 4.346 aspecto dos cordões de conexão cortesia Audio Accessories, Inc.

4.13.2.7 Dispositivos de Roteamento e de Comutação



figura 4.347 dispositivo de roteamento baseado em seletores simples acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As matrizes e os patchbays são dispositivos de roteamento por excelência.

Muitas vezes precisamos de tais recursos, mas com só uma ou poucas entradas, e poucas saídas. Nesses casos, muitas vezes o mais prático é mesmo construir um dispositivo simples de baixa capacidade.

Os dispositivos de roteamento permitem que um sinal seja encaminhado para um ou mais de alguns endereços.

O que pode ser multiplado de sorte que vários sinais de entrada sejam contemplados. Uma das formas de se obter isso é com seletores simples, como mostra a figura 4.347. Outra, mais elegante, é utilizando matrizes como a da figura 4.348.

Os dispositivos de comutação nos permitem fazer ou desfazer caminhos de sinais. Um exemplo disso é quando se energiza um grupo de caixas acústicas em paralelo a partir de um só amplificador.

Interruptores inseridos nos circuitos de algumas dessas caixas permitirão que se trabalhe com todo o grupo de caixas, ou com parte delas.



figura 4.348 pequena matriz de comutação com até 12 entradas e até 8 saídas, modelo MAV Plus 88A cortesia Extron Electronics 4.13.2.8 Extensores Sobre UTP



figura 4.349 extensor de áudio sobre cabo UTP para até 300 metros, model EXT-AUD-1000 cortesia Gefen LLC

Os extensores de áudio são fabricados por muitas e muitas empresas, para um só canal de áudio (A1), dois canais (A2) ou mais. O alcance varia de algumas dezenas de metros a alguns quilômetros, com implicações diretas nos preços. São sempre duas unidades complementares, a unidade “send” que recebe os sinais analógicos e os encaminha via cabo de rede para a outra extremidade, na qual está o receptor, que recebe o cabo de rede num conector RJ45 e gera o sinal ou sinais de origem em conectores de saída. Há modelos que combinam a extensão do áudio com o vídeo. Com alternativas para vídeo composto, vídeo componentes, HDMI, DVI, display port e outros.

4.13.2.9 Centelhadores (arresters) Centelhadores são dispositivos especialmente concebidos e projetados para proteger linhas elétricas de transmissão implantadas a céu aberto, construídas com fios de cobre ou outros condutores elétricos. A proteção é contra a ação de raios e descargas elétricas em geral, bem como de tudo mais que for de natureza transiente. A ideia é aplicável não só às redes de transmissão de energia em todos os países do mundo, mas também às linhas usadas pelos sistemas de telecomunicações.



figura 4.350 centelhadores para uso em instalações de áudio cortesia Littelfuse Na figura 4.350 os cinco centelhadores azuis do lado esquerdo são para baixas voltagens de ruptura, os quatro centelhadores da parte central são para médias voltagens e os três do lado direito são para voltagens de ruptura mais elevadas. Os dois primeiros trabalham com voltagem s chegam próximo de 750 volts. Mas os de alta voltagem podem trabalhar com voltagens de até 7,5 quilovolts.

O nome “centelhador ”está relacionado com a operação dos primeiros produtos, que eram apenas dois bloquinhos de carvão colocados paralelos um dos outro. Na presença da voltagem de disparo era produzida uma faísca, ou centelha, entre os blocos. Isso protegia o que estivesse adiante dos centelhadores.

Atualmente há muitas formas de fabricar centelhadores. Os que estão no centro da figura 4.350 são um tipo que aprecio e uso bastante em meus projetos. Eles são tubos de descarga de gás e podem dissipar transientes através do gás plasma alfa enclausurado, mas de forma integrada com um SAD (diodo de avalanche de silício), sendo que as duas ferramentas são equilibradas entre si. Dessa maneira o diodo estabelece o nível de grampeamento, porquanto o gás plasma se incumbe de transportar o incremento de corrente elétrica que ocorre diante desses fenômenos transitentes. Protegendo, destarte, os equipamentos que ficam adiante do dispositivo.

O SAD também assegura contra falhas no modo curto-circuito diante de eventos transientes muito severos.

Para proteção aprimorada a resistência de isolamento é sempre muito elevada e a capacitância é consideravelmente reduzida. Isso assegurar que nenhum efeito colateral de monta prejudique a operação normal dos equipamentos protegidos.

É fundamental que a velocidade da resposta dos centelhadores seja estabelecida aproximadamente entre 100 volts/microssegundo e 10 quilovolts/microssegundo, conforme modelo, características e especificações desejadas. Tudo em conformidade com a natureza dos transientes contra os quais se quer proteger os equipamentos.

Quando todos os parâmetros são escolhidos adequadamente, os centelhadores podem lidar com pulsos de 10000 ampères sem problemas de auto destruição. Neste particular, é sempre conveniente que se escolha um produto que atenda integralmente a norma IEC 61000-4-5.

Quando elaboramos projetos de sistemas para grandes espaços, como para o Projac da Rede Globo de TV, ou para usinas como a de Ilha Solteira ou a Usina Nuclear de Angra dos Reis, nos deparamos com a necessidade de ter que utilizar linhas externas de comunicação. Mesmo dando preferência para infraestrutura enterrada, eventualmente é preciso emergir num

ponto para manobra ou inspeção, o que expõem as linhas aos perigos mencionados. Logo, os equipamentos interligados por essas são linhas são sempre protegidos com o concurso dos centelhadores.

O mesmo fazemos com cabos de provedoras de serviços de TV e outros, assemelhados, que tenham acesso às residências vindos do exterior. O mesmo valendo para provedores de serviços de Internet e para linhas externas de redes Ethernet.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 5 ambientes abertos x ambientes fechados



5. AMBIENTES ABERTOS x AMBIENTES FECHADOS

5.1 AMBIENTE ABERTO, CAMPO LIVRE E CAMPO DIRETO

5.2 AMBIENTES FECHADOS E CAMPO REVERBERANTE

5.3 ATENUAÇÃO DO SOM EM AMBIENTES ABERTOS, OU LEI DOS INVERSOS DOS QUADRADOS

5.4 ATENUAÇÃO DO SOM EM AMBIENTES FECHADOS

5.5 DISTÂNCIA CRÍTICA (DC) 5.6 O CONTROLE DA DISTÂNCIA CRÍTICA 5.7 VISUALIZANDO OS CAMPOS

5.8 A ACÚSTICA E A MÚSICA 5.8.1 O Ponto de Vista Musical 5.8.2 O Ponto de Vista Técnico 5. AMBIENTES ABERTOS x AMBIENTES FECHADOS

5.1 AMBIENTE ABERTO, CAMPO LIVRE E CAMPO DIRETO

A figura 5.1 mostra dois equilibristas fazendo malabarismos sobre uma corda bamba, bem elevada do chão. Nessas condições, já que não há paredes ou quaisquer superfícies para refletir os sons, quando um dos equilibristas fala e o outro escuta, aos ouvidos deste só chegarão os sons diretos produzidos por aquele, sem quaisquer reflexões. Esse ambiente é que se chama de campo livre.

Pode-se definir mais tecnicamente que o campo de som uniforme está em campo livre quando resulta livre dos efeitos de superfícies em geral, e não é interferido por outras fontes de som.

No mundo real os campos livres são os ambientes nos quais os efeitos das superfícies são desprezíveis. Como exemplos são citados ambientes abertos em geral e câmaras anecóicas.

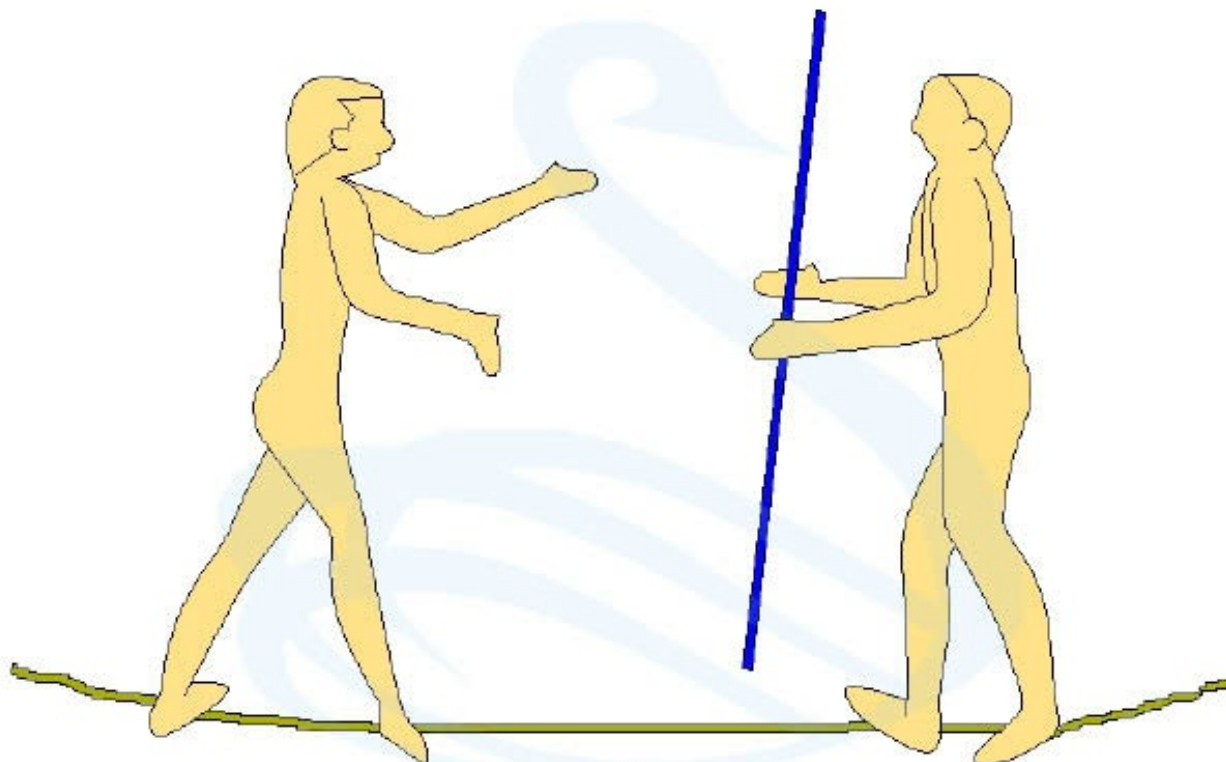


figura 5.1 o campo aberto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 5.2 AMBIENTES FECHADOS E CAMPO REVERBERANTE

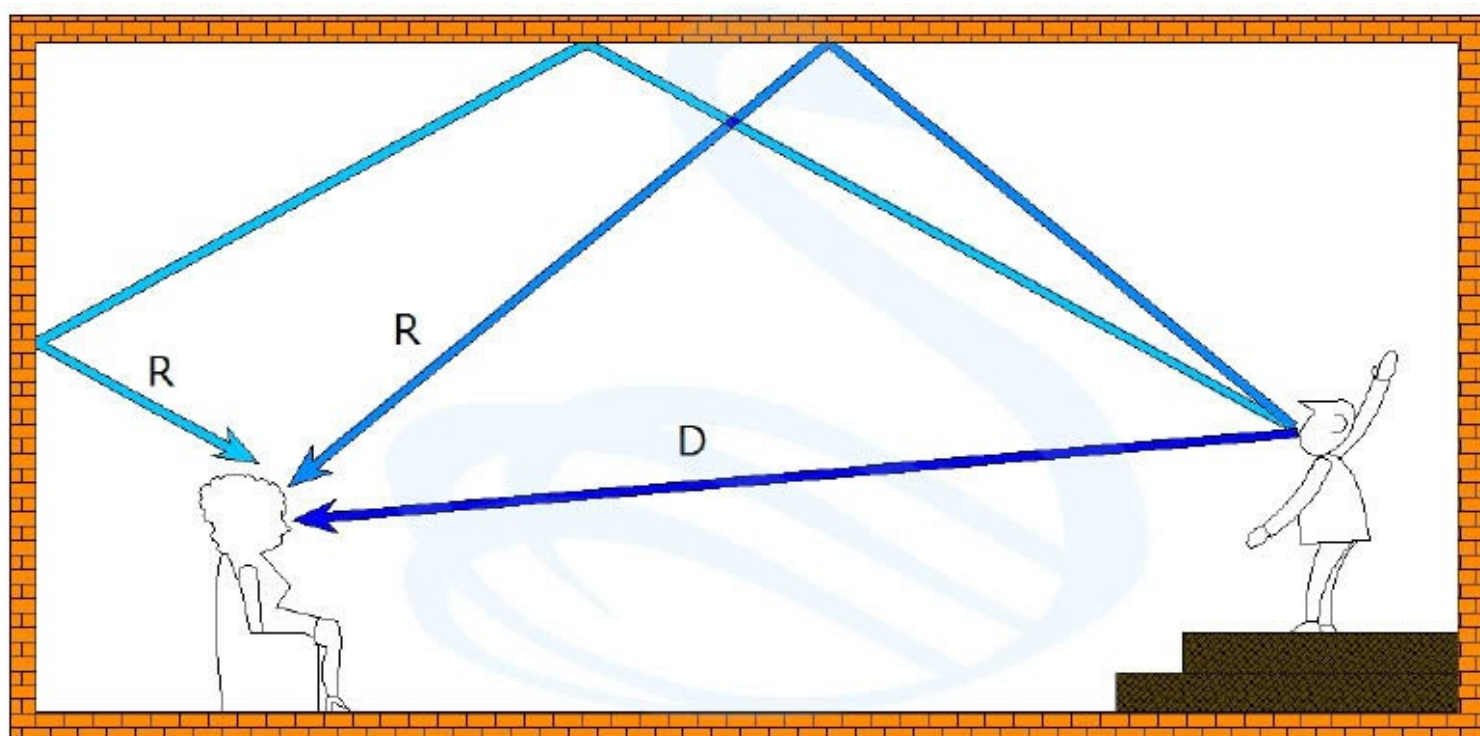


figura 5.2 ambiente fechado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 5.2 estão dois personagens num ambiente fechado. Um falando e outro ouvindo. Agora temos piso, forro e paredes. E aos ouvidos da pessoa que escuta chegam os sons diretos (D) produzidos pela fala mais os sons refletidos (R) nas superfícies, ou reflexões.

Os sons refletidos são formados por um conjunto de reflexões. A primeira reflexão é a de primeira ordem, a seguinte é a de segunda ordem, depois vem a de terceira ordem, e assim por diante, sempre em ordem crescente. A quantidade total de reflexões de todas as ordens pode ser calculada, como mostra a expressão 3.11.

Naturalmente os sons diretos chegam antes da reflexão de primeira ordem, porque seguem o caminho mais curto entre a pessoa que fala e a que escuta.

Após um certo tempo a partir da chegada do som direto chega a reflexão de primeira ordem, seguida da reflexão de segunda ordem, da de terceira ordem, e de todas as de demais ordens, numa rápida sequência. É o que mostra a figura 5.3.

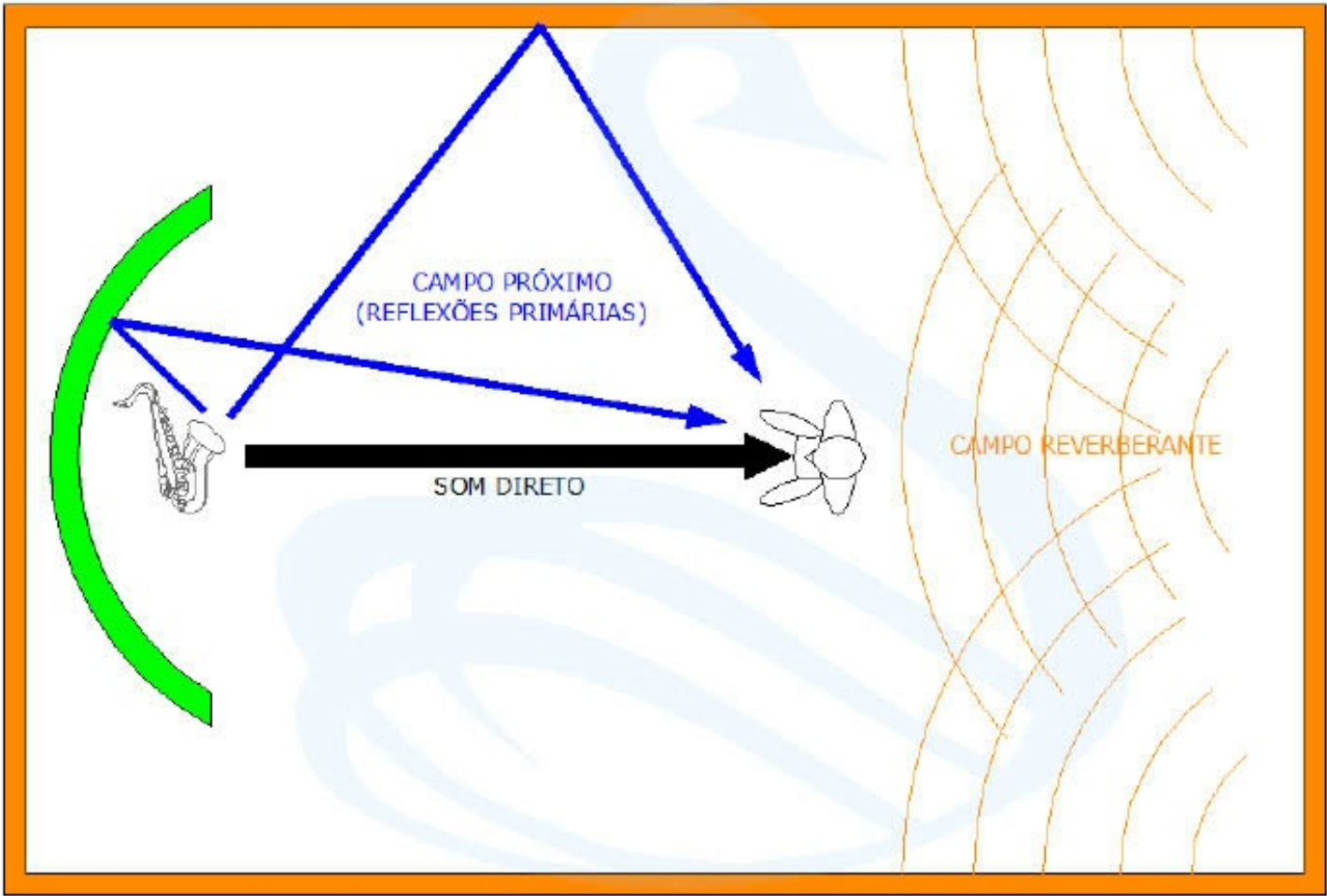


figura 5.3 padrão de reflexões acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

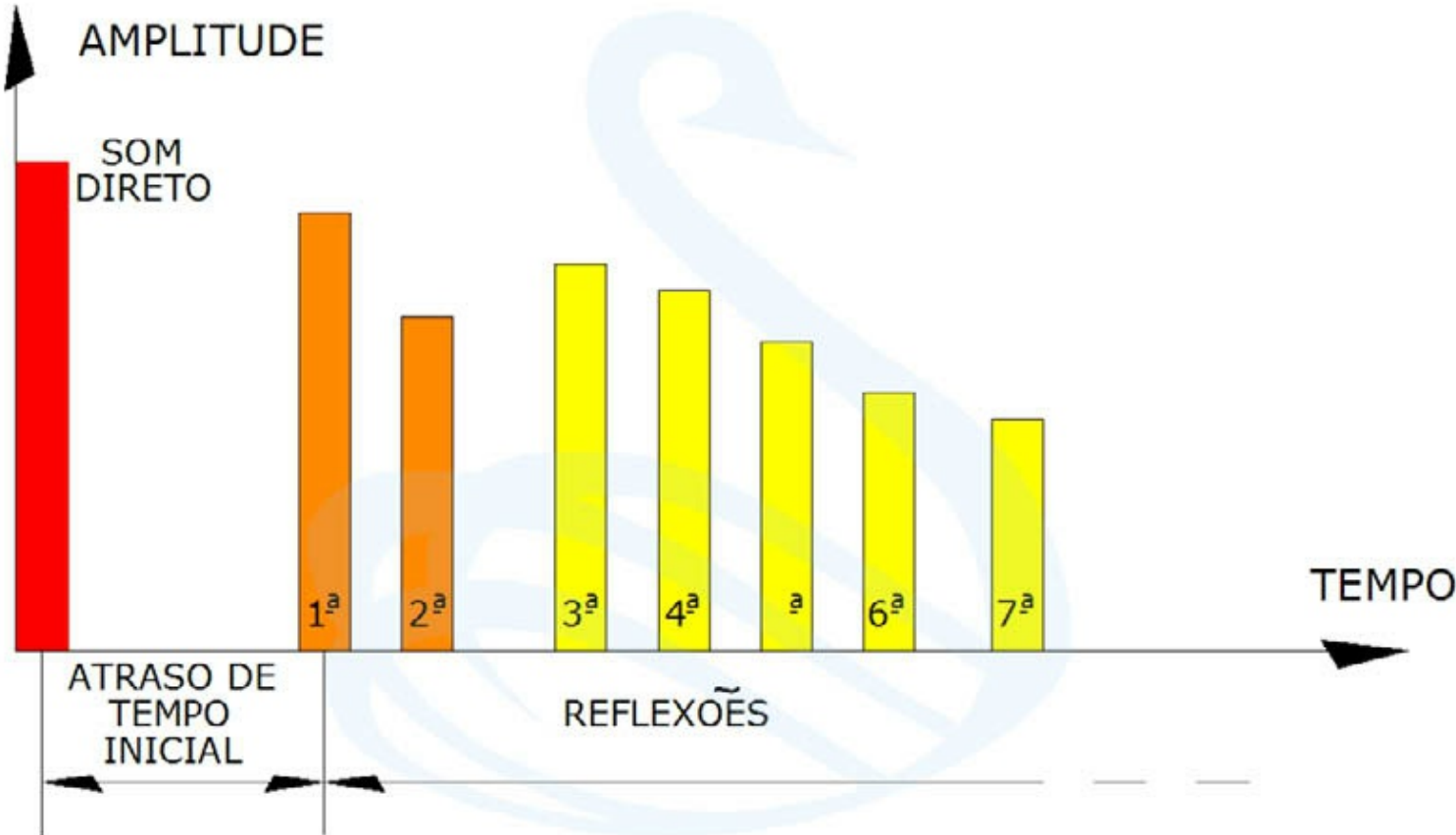


figura 5.4 padrão de reflexões mais elaborado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os dados da

figura 5.3 são apenas hipotéticos, e a intenção aqui é apenas mostrar como os sinais se sucedem nos ouvidos de um espectador num ambiente fechado. Mas é possível medir precisamente essa sucessão. Com o advento dos modernos instrumentos de medida, especialmente dos analisadores TEF, a medição torna-se algo bastante simples. Os dados reais de um ambiente qualquer, dispostos graficamente, são chamados padrão de reflexões do ambiente.

Usualmente prefere-se que o microfone de teste simule os ouvidos de um espectador posicionado na distância D_0 .

Para que entendamos melhor a quantidade de informações que um padrão de reflexões pode revelar vamos nos concentrar na figura 5.4.

O momento t_0 corresponde ao instante em que o sinal acústico deixa a fonte de som. Assim, esse momento é a referência de tempo e o marco inicial de todas as contagens de tempo.

O momento t_1 é o instante em que o sinal direto da fonte chega ao microfone de teste, ou aos ouvidos do espectador.

O momento t_2 é o instante exato em que a primeira reflexão chega ao local de teste, ou aos ouvidos do espectador.

Essa primeira reflexão é seguida de algumas outras, todas com espaçamentos temporais relativamente grandes entre si, até que no momento t_3 essas reflexões como que fazem uma transição. Que pode ser uma pausa ou uma queda muito rápida.

Logo a seguir, no momento t_4 , as reflexões continuam. E se tornam praticamente desprezíveis no momento t_8 . No caso deste exemplo, nos momentos t_5 , t_6 e t_7 chegam reflexões de grande expressão ao ponto de teste. Ainda, entre os momentos t_4 e t_8 , as reflexões sucessivas são cada vez menos espaçadas entre si. Quanto menores são esses espaçamentos para um dado recinto, maior é a densidade de reflexões.

O sinal direto recebido no momento t_1 é designado por L_D .

O conjunto de reflexões recebidos entre os momentos t_2 e t_3 é denominado reflexões primárias (Early Reflections), ou abreviadamente L_{RE} .

Em alguns poucos casos há sinais esporádicos chegando aos ouvidos dos espectadores antes do momento t_1 . Isso pode acontecer por duas razões. Ou porque o som encontra um caminho através do qual viaja com velocidade superior à do som viajando no ar, ou porque há reflexões inesperadas que seguem caminhos muito curtos.

Adiante veremos que as reflexões caracterizadas por atrasos muito curtos não só prejudicam a inteligibilidade, mas também degradam a resposta de frequências. E a figura 6.43 mostra uma das formas de evitar reflexões havidas nas próprias superfícies das caixas acústicas.

Essas reflexões muito prematuras são chamadas de Reflexões Primárias Antecipadas (RPA), ou em inglês, Early Early Reflections (EER).

O conjunto das reflexões contidas entre os momentos t_4 e t_8 é o que chamamos de

reverberação, ou abreviadamente, L_R . Portanto, não devemos confundir reverberação, que é um conjunto de muitas reflexões, com reflexão.

Observem que se analisada como um todo, a reverberação aumenta rapidamente até um determinado momento, a partir do qual a energia tende a diminuir gradualmente, a cada reflexão adicional. Ainda assim, entre todas as reflexões que compõem a reverberação há sempre algumas reflexões isoladas com elevado nível de energia. No caso do exemplo com que estamos trabalhando são aquelas que chegam ao ponto de teste nos momentos t_5 , t_6 e t_7 .

O intervalo $t_1 - t_0$ representa o tempo de viagem do sinal desde o momento em que ele deixa a fonte de som até o momento em que ele chega ao ponto onde está o microfone de teste, ou os ouvidos do espectador.

O intervalo decorrido entre a referência e a reflexão que caracteriza o ponto de inflexão da reverberação, isto é, $t_5 - t_0$, é o que se denomina **atraso natural do ambiente**, ou D_N .

E o intervalo decorrido entre o momento da chegada do sinal direto e o momento da chegada da primeira reflexão primária, ou $t_2 - t_1$, é o chamado **Intervalo de Atraso de Tempo Inicial** (Initial Time Delay Gap), ou ITDG, ou ainda, simplesmente ITD.

Os termos Intervalo de Atraso de Tempo Inicial, ITD e ITDG foram todos cunhados por mestre Beranek, quando de suas pesquisas com grandes salas de concerto.

Quando ouvimos música num ambiente fechado, invariavelmente acabamos com a impressão exata do tamanho físico do local. Uma das pistas para que tenhamos esta percepção é o valor do ITD.

O Dr. Leo L. Beranek pesquisou uma longa série de grandes espaços fechados, todos dedicados exclusivamente a audição de música. Não sem razão o mestre enfatizou vigorosamente a importância do conceito ITD.

Embora todas as salas pesquisadas tenham sido projetadas por profissionais reputados, enquanto algumas eram consideradas portadoras de excelentes propriedades acústicas, outras eram julgadas acusticamente apenas regulares. E ainda haviam aquelas consideradas acusticamente deficientes.

Os critérios de julgamento e os próprios julgamentos foram feitos por profissionais altamente especializados em acústica arquitetônica, e por músicos, todos trabalhando sob a batuta firme do Dr. Beranek.

Todas as salas consideradas como as melhores do mundo, sem exceção, apresentaram o seguinte conjunto de predicados:

- ITDG da ordem de 20 milissegundos, sem grandes variações
- densidade de reflexões invariavelmente muito elevada
- queda de campo reverberante sempre muito linear, sem desvios expressivos

É interessante ressaltar que os tempos de reverberação nestas salas nem sempre se mostraram consistentes com os que recomendam praticamente a totalidade dos autores, inclusive eu mesmo. O que faço no capítulo 3, item 3.12.1, com ilustração da figura 3.33.

Como explicar isso? Muito bem.

De um lado, ninguém recomenda tempos de reverberação só porque os julga pessoalmente mais adequados do que os demais.

Ao invés disso, as recomendações estão baseadas em trabalhos de pesquisa, desenvolvidos por décadas a fio, nas quais grupos de pessoas estabelecem experimentalmente os tempos de reverberação que entendem ser os mais adequados para cada tipo de sala.

Esses grupos de pessoas são escolhidos a dedo para que representem com fidelidade a população com seus hábitos auditivos e características de audição. Além disso, os tamanhos dos grupos são suficientemente grandes para que possam representar amostras estatisticamente válidas.

Os trabalhos são sempre realizados com audições sucessivas de diferentes naturezas de programas musicais. Os dados correspondentes às preferências pessoais são anotados e posteriormente compilados cientificamente, para que possam refletir verdades estatísticas.

Dessa maneira, as figuras coletadas apontam tendências efetivas dos paladares auditivos da maioria das pessoas em condições típicas de audição.

Por outro lado, por sua própria natureza, esses trabalhos experimentais não levam em conta o fator ITD. Nem seus valores.

Ou seja, os locais pesquisados não foram previamente selecionados por seus ITD's característicos.

Já na pesquisa de Beranek, independentemente de que tempos de reverberação eram considerados mais adequados, foram selecionados os locais subjetivamente julgados os melhores. E então se tentou descobrir porque as pessoas julgavam esses locais como sendo os melhores.

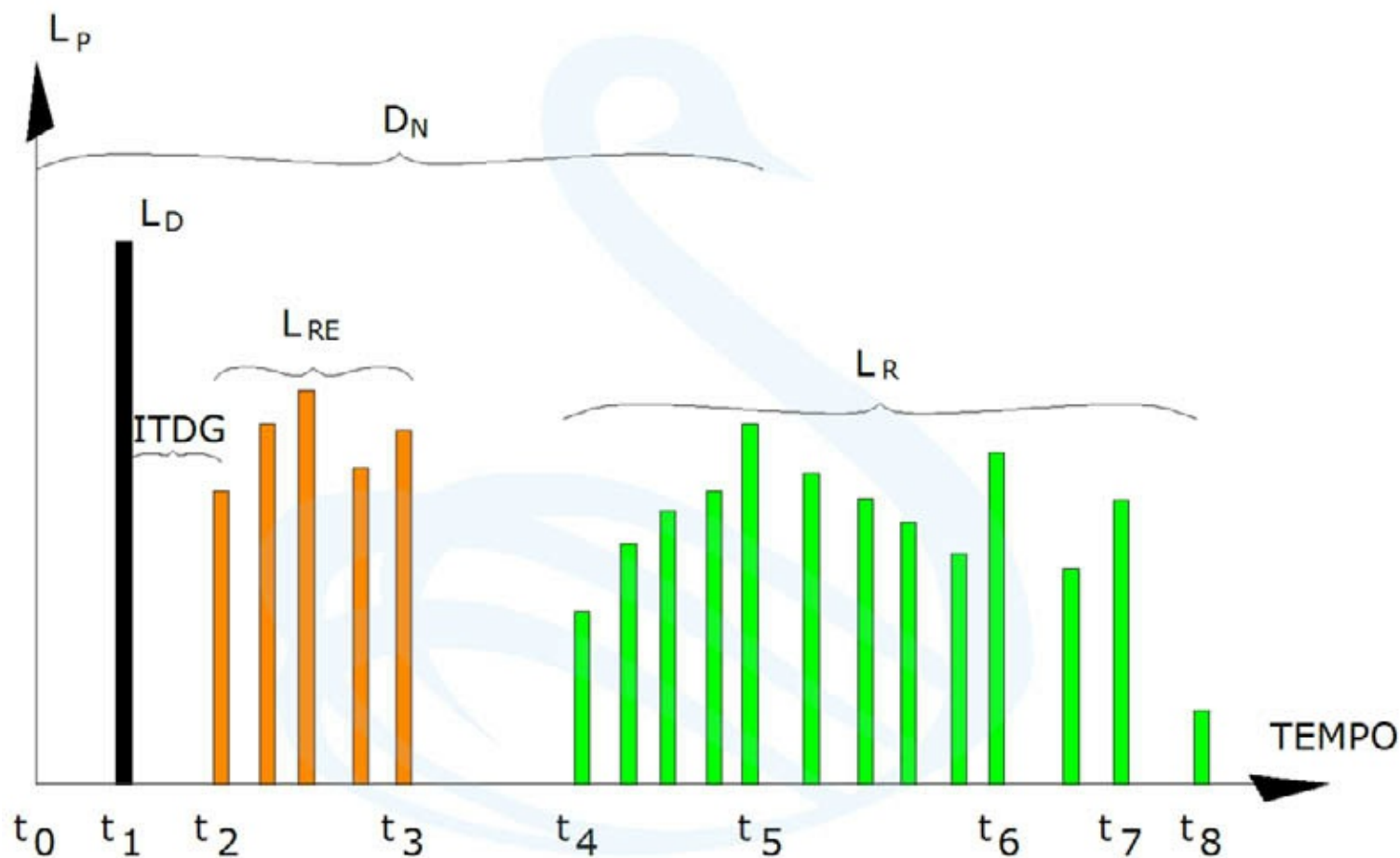


figura 5.5 como se formam o ITDG e o campo reverberante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne. Sabemos que se o ITD é muito reduzido, acabamos com uma típica situação de sala de música de tamanho pequeno. E que se ele é superior a 40 ou 50 milissegundos, nossos ouvidos tenderão a ouvir separadamente o L_D e o L_R , sem fundi-los numa entidade única.

O que significa que o ITD deve guardar boa coerência com o tamanho da sala. Se isso é verdade, também é verdade que para salas muito grandes o valor ainda deve cair dentro da chamada zona de Haas.

Para que possamos controlar adequadamente o ITD devemos ter uma noção exata de sua origem. É o que a figura 5.5 procura mostrar.

A figura 5.6 mostra 2 aferições de padrão de reflexões feitas com analisador TEF.

O padrão de reflexões da esquerda é o do Concertgebouw, da cidade de Harleen, na Holanda.

O ITD de 20 milissegundos exatos e a elevada densidade de reflexões enquadram-se perfeitamente nos elevados padrões de qualidade claramente identificados por Beranek.

O padrão de reflexões da direita é o de uma das salas de audição que fazem parte do complexo da Audio Electronics Laboratory of Albertson, em Nova Iorque.

Uma vez que a sala é consideravelmente pequena, seu ITD natural é de aproximadamente 9 milissegundos.

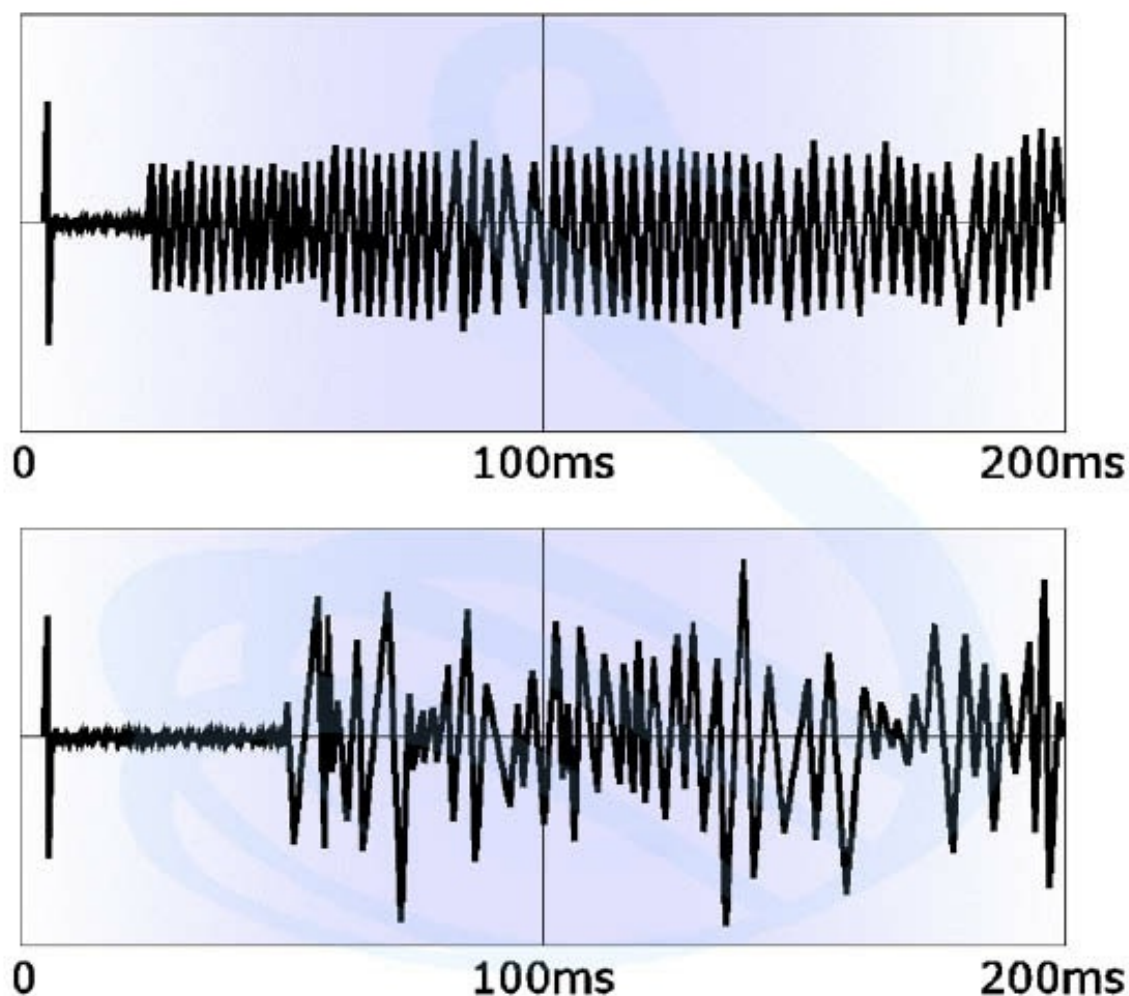


figura 5.6 padrões de reflexão (ETC) feitas com analisador TEF
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Portanto, o valor aferido é reduzido de forma coerente em
relação aos padrões de Beranek. E o mais importante, esse intervalo de tempo é absolutamente
definido.

O que nos mostra que também é possível obter excelentes resultados mesmo em ambientes pequenos. Neste caso específico, isso foi possível graças a aplicação da técnica LEDE (Live End Dead End), proposta por Donald Davis.

Nesta pequena sala de audição da Audio Electronics Laboratory, os microfones ficam na parte acusticamente amortecida da sala, voltados para a parte acusticamente viva.

Quando Davis dividiu o conceito LEDE para estúdios, o que ele realmente tinha em mente era poder controlar o ITD das salas técnicas, de modo que eles fossem no mínimo 3 milissegundos superior ao ITD das salas de gravação. E seu objetivo com isso era fazer com que o operador não tivesse a qualidade da sala de gravação, com seu ITD próprio e característico, mascarada por um ITD inferior, característico da sala técnica.

Essa forma de controlar o ITD mostrou-se rigorosamente eficaz, proporcionando excelentes resultados sônicos e gravações superiores em trabalhos feitos nesses locais.

Além disso, o controle do ITD é uma forma inteligente através da qual se pode determinar o tamanho psicoacústico das salas. Ou seja, assim como fazemos tratamentos acústicos convencionais, também podemos incluir nesses tratamentos a elaboração do ITD. E o que

desejamos obter é o condicionamento dos fatores que estabelecem nossa sensação perceptiva de volume físico de espaço, advinda psicoacusticamente dos momentos precisos em que nossos ouvidos recebem e processam eventos aurais.

Nos casos de estúdios, essa técnica é um dos critérios obrigatórios para que eles possam se habilitar a receber a chancela LEDE, tal como definida por Donald Davis.

5.3 ATENUAÇÃO DO SOM EM AMBIENTES ABERTOS, OU LEI DOS INVERSOS DOS QUADRADOS

Todos nós sentimos diminuir a intensidade do som na medida em que nos afastamos da fonte que o produz.

Para o engenheiro de áudio interessa saber exatamente quanto é essa redução. Como ela se comporta. Tanto para ambientes abertos quanto para ambientes fechados.

A figura 5.7 mostra uma fonte de som FS radiando som uniformemente em todas as direções. Podemos dizer que a energia radiada passa por esferas concêntricas de áreas crescentes.

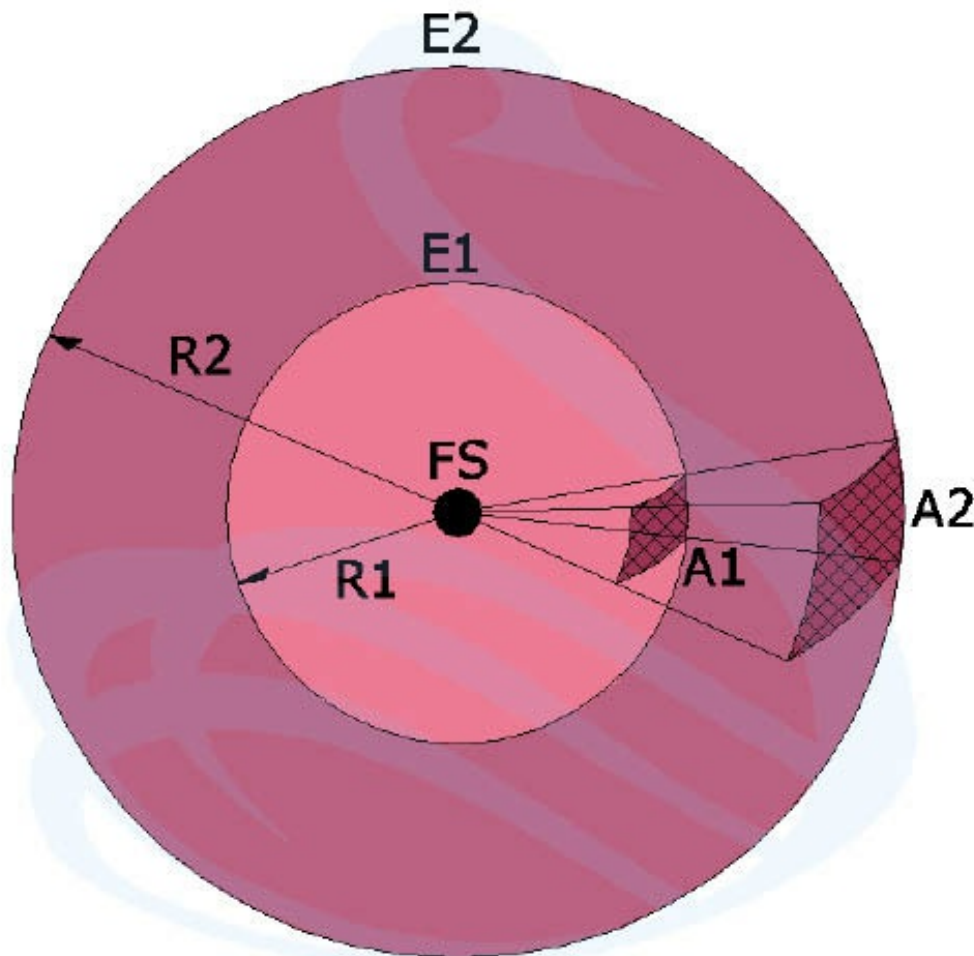


figura 5.7 fonte de som onidirecional acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne E1 e E2 representam duas esferas com centros coincidentes em FS. Os raios são R1 e R2, respectivamente.

A figura mostra também um ângulo sólido interceptando as duas esferas, do que resultam as áreas A1 sobre a esfera E1 e A2 sobre a esfera E2.

A mesma quantidade de energia que passa por A1 também passa por A2. E como A1 é

menor do que A2, a quantidade de energia por unidade de área é maior na esfera E1. Ou seja, quanto maior o raio de esfera, menor será a quantidade de energia que passa por unidade de área. A atenuação pode ser calculada por

$$A_{ten} = 10 \log \frac{QE_1}{QE_2} \quad (5.1)$$

Onde

- QE_1 a quantidade de energia por unidade de área que passa pela primeira esfera,
- QE_2 a quantidade de energia por unidade de área que passa pela segunda esfera

A área da superfície de uma esfera é dada por $4\pi R^2$. Então, no caso de nosso exemplo, a área de E1 é $4\pi R_1^2$ e a de E2 é $4\pi R_2^2$.

Isso significa que a energia decresce com o quadrado da distância. É a conhecida lei dos inversos dos quadrados. Se R1 for 2 metros, A1 será 50,27 metros quadrados, e se R2 for 4 metros, A2 será 201,06 metros quadrados.

A quantidade de energia QE passando pelas duas áreas é a mesma.

No primeiro caso a energia por área será $QE/50,27$.

No segundo será $QE/201,06$.

Calculando a atenuação:

$$A_{ten} = 10 \log \frac{\frac{QE}{50,27}}{\frac{QE}{201,06}} = 10 \log 4 = 6,04 \text{ dB}$$

Ou seja, a lei dos inversos dos quadrados mostra que o nível de pressão sonora cai 6,0 dB cada vez que a distância da fonte dobra.

Se medirmos o nível de pressão sonora da voz masculina a 1 metro da boca de quem fala, e obtivermos 70 dBA, podemos prever os seguintes níveis atenuados: tabela 5.1

DISTÂNCIA (metros)	dBA
1	70
2	64
4	58
8	52
16	46
32	40

A fórmula para cálculos gerais de atenuação seguindo a lei dos inversos dos quadrados é:

$$L_{P_{dx}} = L_{P_{ref}} + 20 \log \frac{d_{ref}}{d_x} \quad (5.2)$$

onde

- $L_{P_{dx}}$ é o nível de pressão sonora na distância dx , que se quer saber
- $L_{P_{ref}}$ é o nível de pressão sonora na distância referência
- d_{ref} é a distância referência
- d_x é uma distância qualquer

Evidentemente, a lei dos inversos dos quadrados só é aplicável a ambientes abertos. E mesmo assim, é bom frisar que há outras formas de atenuação, como a imposta pela viscosidade e condução de calor pelo ar.

A figura 5.8 mostra as atenuações causadas pelo ar para diferentes frequências a várias distâncias da fonte.

Quando essas atenuações forem apreciáveis, deverão ser somadas às calculadas pela lei dos inversos dos quadrados.

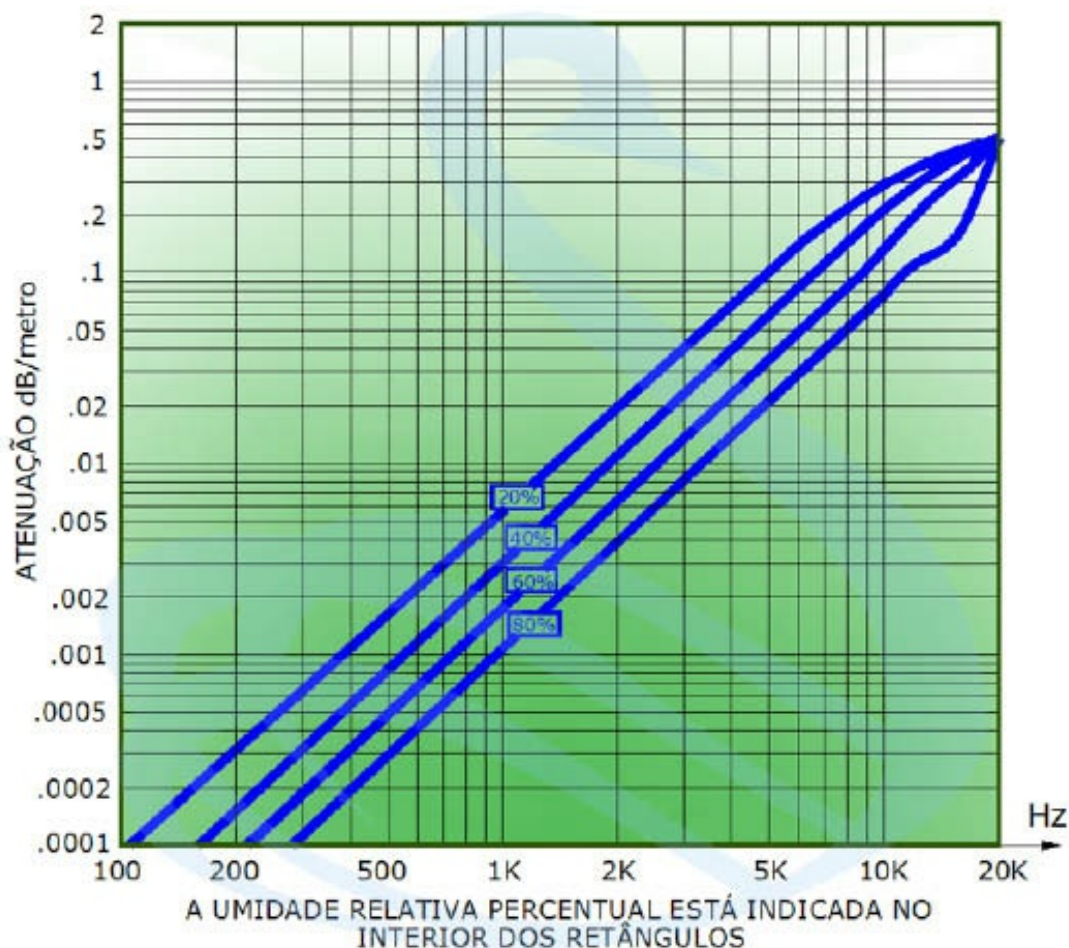


figura 5.8 atenuação do som no ar, para vários graus de umidade relativa acervo do engº Luiz Fernando

O. Cysne 5.4 ATENUAÇÃO DO SOM EM AMBIENTES FECHADOS

Nos ambientes fechados as coisas se passam de modo diferente.

Sabemos que nestes temos a contribuição dos sons diretos e do campo reverberante. A figura 5.9 ilustra essas duas contribuições num ambiente fechado.

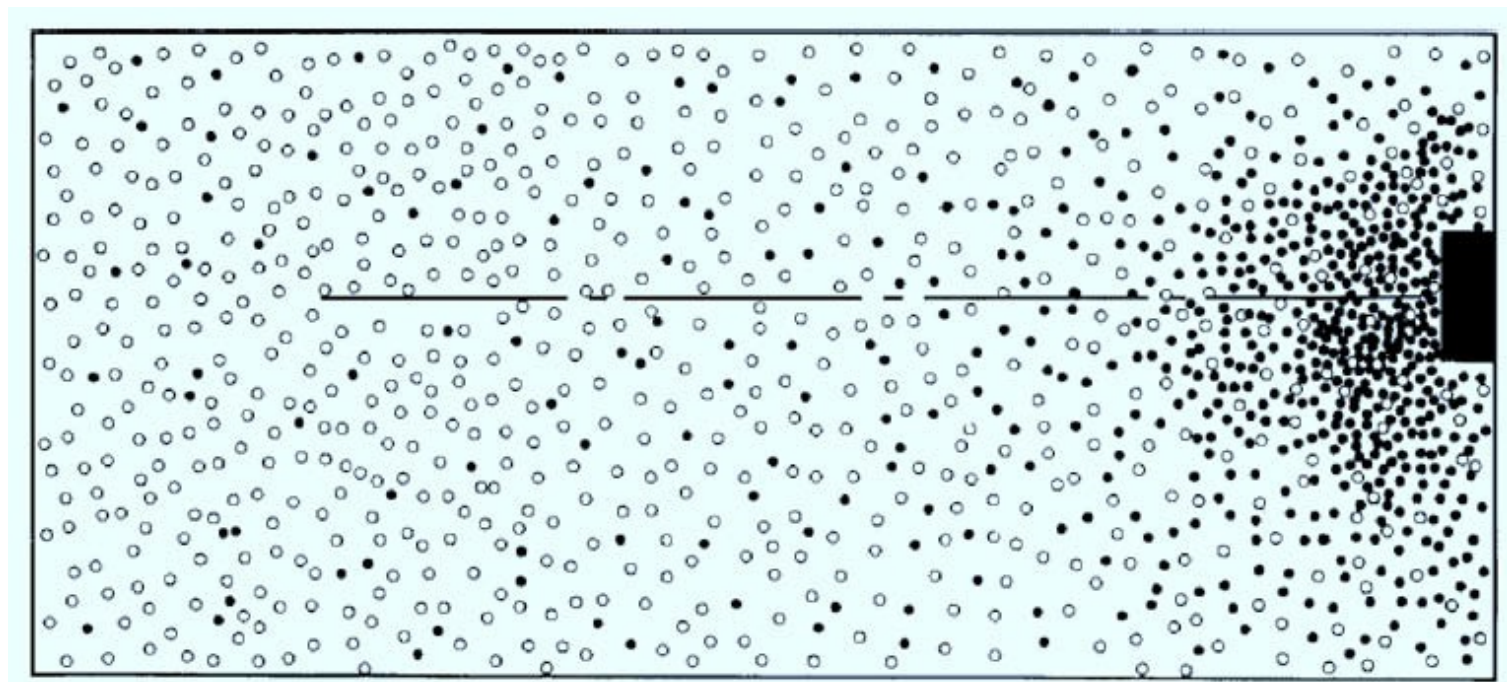


figura 5.9 campos direto e reverberante provenientes de um alto-falante onidirecional cortesia JBL Professional O projetor de som não é direcional, de modo que radia sons uniformemente por um ângulo sólido de $360^\circ \times 180^\circ$. Os pontos pretos representam o som direto, e os pontos brancos o campo reverberante.

Nota-se que a densidade dos sons diretos, grande em torno do projetor, vai diminuindo progressivamente à medida em que se afasta dele. Os pontos brancos representam o campo reverberante. Sua densidade é mais ou menos constante por todo o ambiente, caracterizando a uniformidade do campo reverberante.

Se analisarmos a relação entre os sons diretos e o campo reverberante em função da distância entre observador e projetor de som, veremos que nas proximidades deste, praticamente só há contribuição dos sons diretos.

E nossa relação é muito elevada.

Para quem se afasta pouco a pouco do projetor, há uma distância na qual as contribuições dos sons diretos e campo reverberante são equivalentes e daí em diante a contribuição do campo reverberante vai se tornando cada vez maior em relação à dos sons diretos.

Podemos dizer tudo isso graficamente com o auxílio da figura 5.10.

Como vimos, para ambientes abertos a taxa de redução é cerca de 6,0 dB para cada vez que dobra a distância entre o ponto considerado e a fonte de som. Mas neste caso específico estamos considerando apenas o chamado campo direto, nome que se deve ao fato de que todo o som é diretamente proveniente do falante.

E isso é tudo o que existe nos ambientes abertos.

Nos ambientes fechados também existe o campo direto.

Como nos mostra a reta fina descendente da figura 5.10, que representa a redução do nível de pressão sonora à medida em que se afasta do projetor, sem quaisquer outras contribuições.

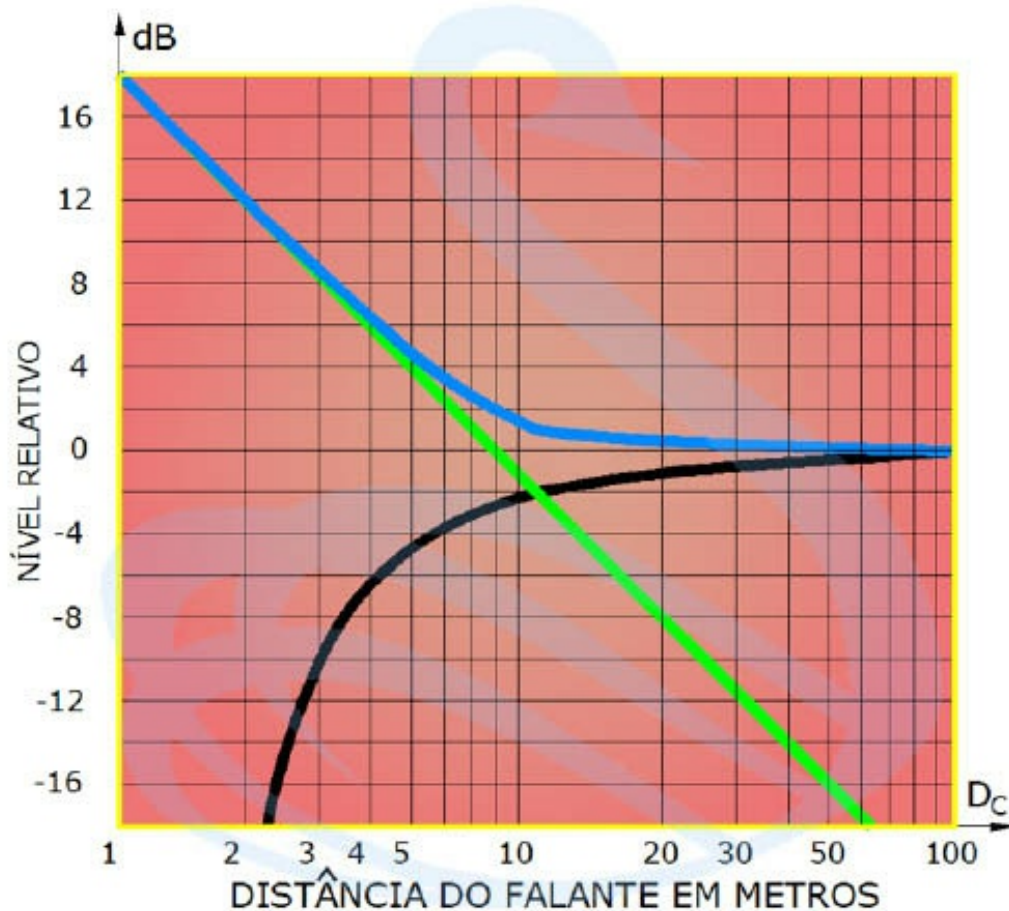


figura 5.10 atenuação do som em ambientes fechados. Campo direto, campo reverberante e campo total
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mas ao mesmo tempo, nos ambientes fechados, à medida em que nos afastamos da fonte de som, faz-se cada vez mais presente o outro campo, que é o campo reverberante. Que nada mais é do que a contribuição dada pelo somatório das múltiplas reflexões do som em todas as superfícies internas do espaço em questão. Ou seja, a reverberação do ambiente.

Por isso mesmo, essa contribuição também é conhecida como ganho acústico do ambiente. Claro que sua intensidade é tanto maior quanto mais vivo é o local. Isto, acusticamente falando.

Portanto, num ambiente fechado, a pequenas distâncias do falante praticamente só existe o campo direto. O que é tão mais verdadeiro quanto menor é a distância que nos separa dele. Com o aumento da distância, o campo direto vai diminuindo 6,0 dB/dobrada de distância, e o campo reverberante vai aumentando.

A figura 5.10 exhibe exatamente essa situação.

Disse que a reta fina descendente representa o campo direto. Agora, se olharmos para a figura veremos que a curva fina ascendente representa o campo reverberante, e a curva cheia representa a soma dos campos direto e reverberante, plotada em função da distância do falante. Portanto, ela corresponde ao chamado campo total, e mostra como varia a pressão sonora para diferentes afastamentos do falante.

A curva que representa o campo total é inicialmente uma reta, com inclinação equivalente a

queda de 6,0 dB cada vez que duplica a distância do falante. Ou seja, prevalece a lei dos inversos dos quadrados.

Num determinado ponto, a inclinação deixa de ser aquela, e vai diminuindo mais e mais, indicando que a queda tem taxa progressivamente inferior, até que não haja mais redução do nível de pressão sonora. Isso é, a pressão sonora tende a ser constante, independentemente de quanto nos afastamos do falante.

Cada ambiente possui suas próprias características geométricas e acústicas. Consequentemente, o comportamento do campo total num dado espaço é diferente de todos os demais.

Dessa forma, embora a aparência geral da figura 5.10 seja semelhante para todos os ambientes, os campos reverberantes e total podem apresentar diferenças significativas. Portanto, os dados da figura 5.10 correspondem apenas a um caso hipotético específico, e não são genericamente aplicáveis a quaisquer outros casos.

A figura 5.11 mostra um falante numa sala bastante reflexiva, ou acusticamente viva. Os pontos pretos e brancos ainda representam sons diretos e campo reverberante, respectivamente.

A figura 5.12 mostra o mesmo falante, na mesma sala, que agora foi feita acusticamente muito absorvente.

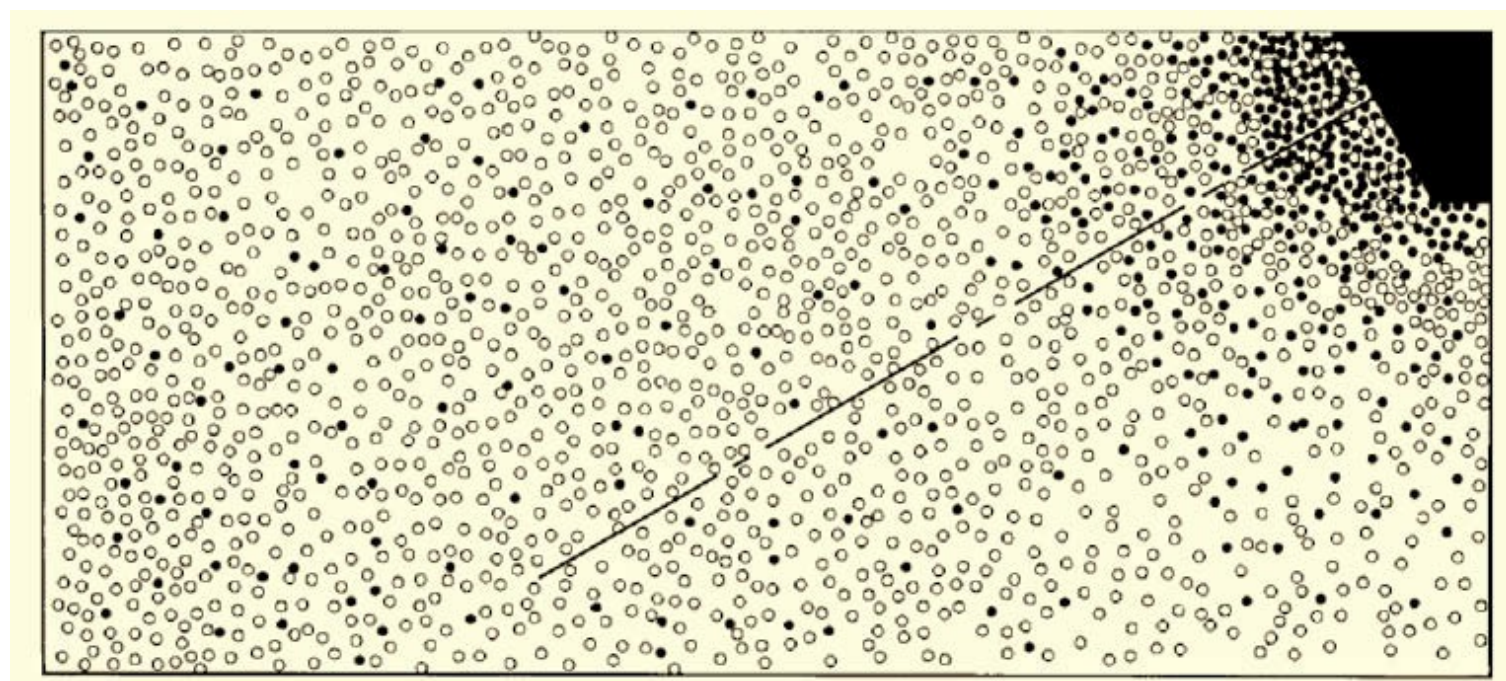


figura 5.11 campos direto e reverberante provenientes de um alto-falante instalado em sala acusticamente viva cortesia JBL Professional Como o tempo de reverberação é mais longo na sala reflexiva, nesta o campo reverberante é mais intenso do que na sala mais absorvente.

E nesta última, os sons diretos não são tão densos em torno do projetor de som quanto na sala reflexiva.

Assim, para ambiente fechados podemos esperar por atenuações em função da distância do falante tão mais acentuadas quanto mais acusticamente absorventes são os ambientes.

É o que mostra a figura 5.13, resumindo um vasto e extraordinário trabalho realizado por Hopkins e Stryker.

A reta diagonal exibe a queda como medida em campo livre, onde a Constante do Ambiente é $R = (S.;) / (1-;)$ sendo ; o coeficiente médio de absorção do espaço fechado. Todas as curvas mostram a expectativa de variação do campo total em função das variações das distâncias ao falante, para diversos valores de R.

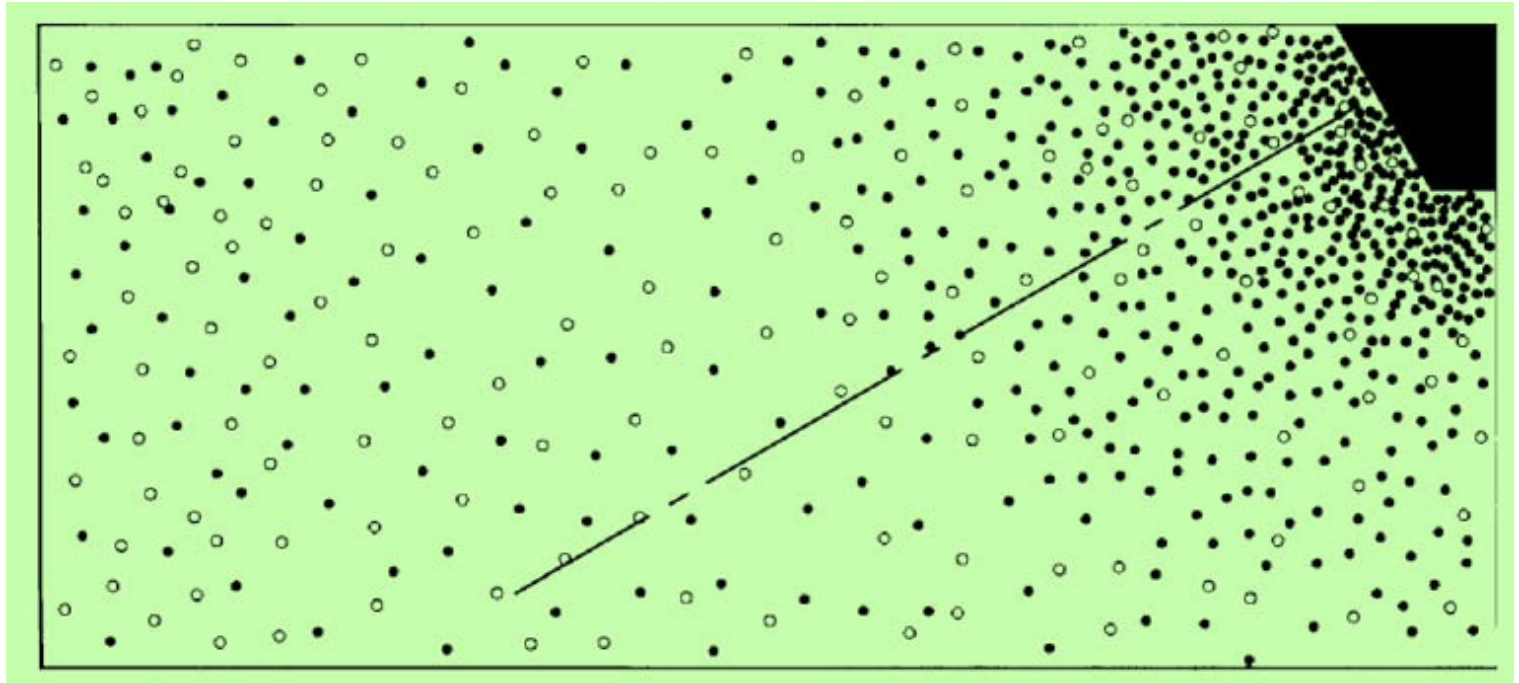


figura 5.12 campos direto e reverberante provenientes de um alto-falante instalado em sala acusticamente morta cortesia JBL Professional

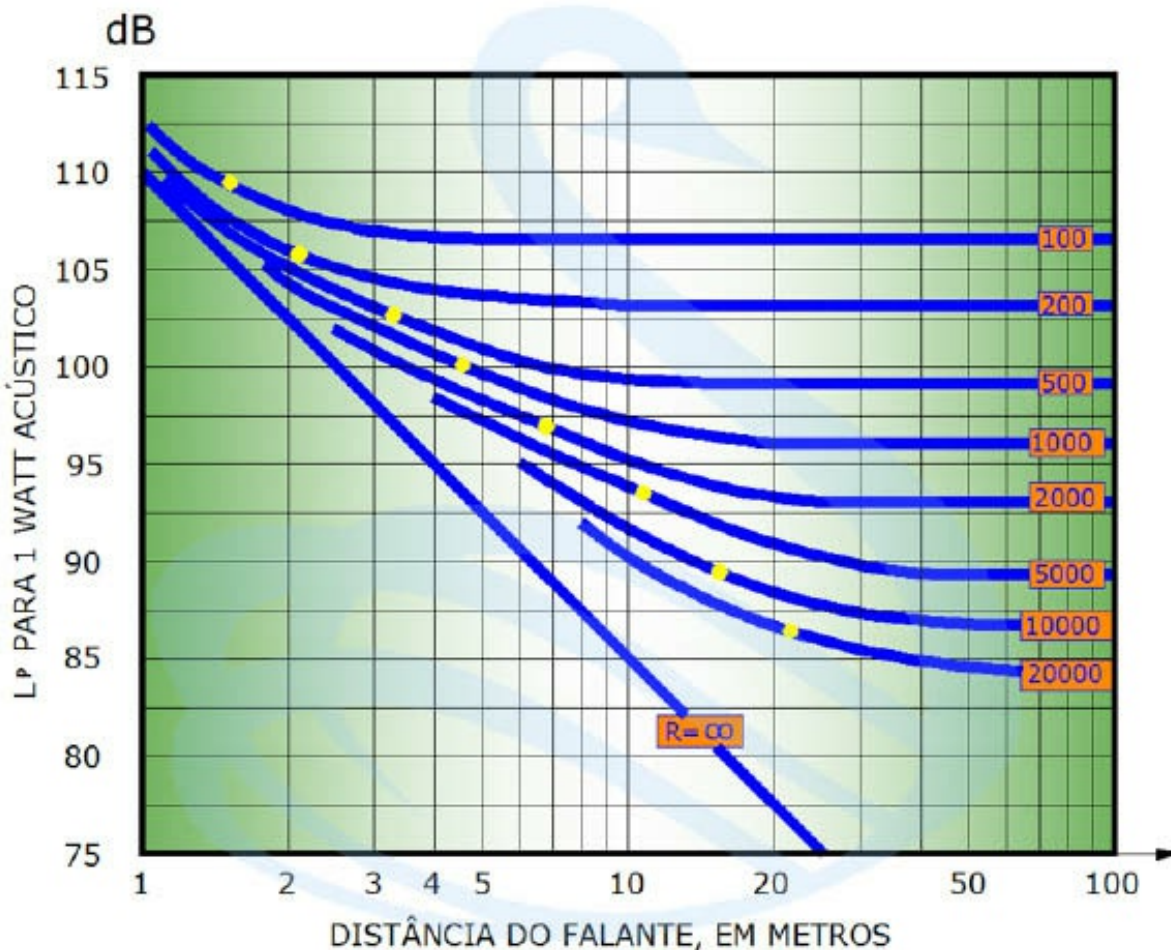


figura 5.13 atenuação do som em ambientes fechados, de acordo com características acústicas distintas

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 5.14 mostra um falante direcional no mesmo recinto que o da figura 5.9. Observa-se que, dada a maior direcionalidade do falante, os sons diretos se aglutinam mais sobre seu eixo principal. Portanto, a atenuação com a distância do falante diminui com o aumento da direcionalidade deste.

Graças ao trabalho de Hopkins e Stryker, hoje é possível calcular com razoável precisão a atenuação do campo total num ambiente fechado a qualquer distância do falante.

A atenuação do campo direto, considerada inclusive a diretividade do falante, pode ser calculada com o auxílio da expressão:

$$\text{aten } L_{Ddx} = -10 \log \frac{Q}{4\pi(dx)^2} \quad (5.3)$$

onde

- $\text{aten } L_{Ddx}$ é a atenuação procurada, em dB
- Q é a relação de diretividade do projetor de som, e
- dx é a distância do projetor para a qual se quer calcular a atenuação, em metros

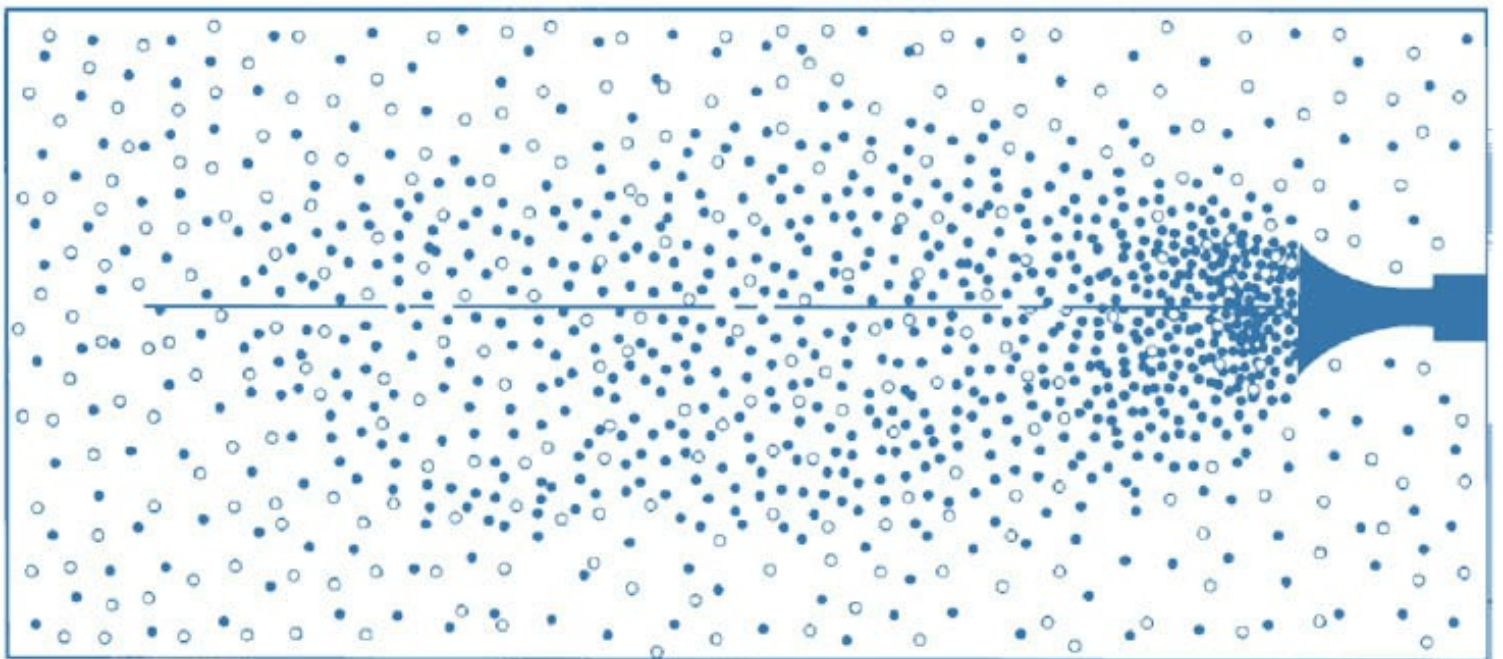


figura 5.14 campos direto e reverberante provenientes de um alto-falante direcional cortesia JBL Professional A atenuação do campo reverberante é dada por

$$\text{aten } L_{Rdx} = -10 \log \frac{4}{S\bar{a}} \quad (5.4)$$

onde

- $\text{aten } L_{Rdx}$ é a atenuação procurada
- S é a área total das superfícies internas do recinto, em metros quadrados, e
- $\bar{a}$ é o coeficiente médio de absorção do recinto

Desse modo, a atenuação do campo total do som, isto é, dos sons diretos mais campo reverberante é

$$\text{aten } d_x = -10 \log \left[\frac{Q}{4\pi (d_x)^2} + \frac{4}{S \cdot \bar{a}} \right] \quad (5.5)$$

Vamos nos exercitar com um exemplo. Seja um ginásio com volume interno de 12.000 m³, superfície interna de 4.000 m² e $\bar{a} = 0,24$.

Calcula-se RT_{60} igual a 2 segundos, e a Constante do Ambiente $R = 1.263 \text{ m}^2$.

Queremos determinar o nível de pressão sonora a 50 metros da fonte, que produz 100 L_p a 3 metros, e cujo $Q = 8$.

$$\text{aten } 3\text{m} = -10 \log \left[\frac{8}{4\pi 3^2} + \frac{4}{960} \right] = 11,3 \text{ dB}$$

$$\text{aten } 50\text{m} = -10 \log \left[\frac{8}{4\pi (50)^2} + \frac{4}{960} \right] = 23,5 \text{ dB}$$

A primeira atenuação é calculada para a distância de 3 metros. A segunda é a atenuação em $dx = 50$ metros. Portanto, o nível procurado é

$$100 - (23,5 - 11,3) = 100 - 12,2 = 87,8 \text{ L}_p$$

Se fôssemos calcular para um ambiente externo, teríamos

$$L_p = 100 + 20 \log \frac{3}{50} = 100 + (-24,4) = 75,6 \text{ L}_p$$

A diferença entre esses dois valores calculados é a contribuição do campo reverberante, no caso, 12,2 dB. A essa contribuição do campo reverberante dá-se o nome de ganho acústico do ambiente fechado, ou simplesmente ganho acústico.

A expressão proposta por Hopkins e Stryker é baseada em estatísticas, e embora propicie, como mencionado anteriormente, razoável precisão para a maioria dos casos, pode apresentar erros relativamente elevados quando aplicada a casos de ambientes acusticamente muito absorventes e com pé direito reduzido em relação a suas outras dimensões.

De fato, neste particular tipo de local, o campo reverberante não se apresenta suficientemente difuso de forma a se enquadrar em modelos estatísticos.

Para tais locais, em seu trabalho “Quasi-steady-state and Decaying Sound Fields”, Ingenieursblad, volume 42, número 18, V. M. A. Peutz aproximou empiricamente uma equação que possibilita ao engenheiro de áudio estimar com boa aproximação a taxa da curva de atenuação com a distância do falante, além da distância crítica, conceito introduzido nos próximos parágrafos. A expressão é

$$T_d = \frac{0,4\sqrt{V}}{h \cdot RT_{60}} \text{ dB} \quad (5.6)$$

onde

- T_d é a queda adicional em dB cada vez que duplica a distância do falante, além da distância crítica
- V é o volume do recinto, em metros cúbicos
- h é o pé direito em metros, e
- RT_{60} é o tempo de reverberação em segundos

5.5 DISTÂNCIA CRÍTICA (D_c) Vamos lembrar agora que quando somamos dois campos de som iguais obtemos um campo resultante 3,0 dB maior do que cada campo somado, individualmente considerado.

Se pararmos um instante para pesquisar mais detidamente a figura 5.10, vamos ver que há uma certa distância do falante na qual o campo total - curva grossa - é 3,0 dB maior do que o campo direto.

Consequentemente, nesse ponto a contribuição do campo reverberante tem que ser igual à dos sons diretos, de modo que as duas contribuições combinadas produzam campo total 3,0 dB acima de qualquer delas, individualmente consideradas.

Essa distância do projetor de som, na qual os níveis dos sons diretos e campo reverberante são iguais, chama-se distância crítica (D_c).

Essa é a definição clássica da distância crítica. Ou seja a distância do falante na qual os campos direto e reverberante se igualam.

Tendo isto em mente, podemos regraduar a figura 5.10 em termos de D_c . É o que mostra a

figura 5.15.

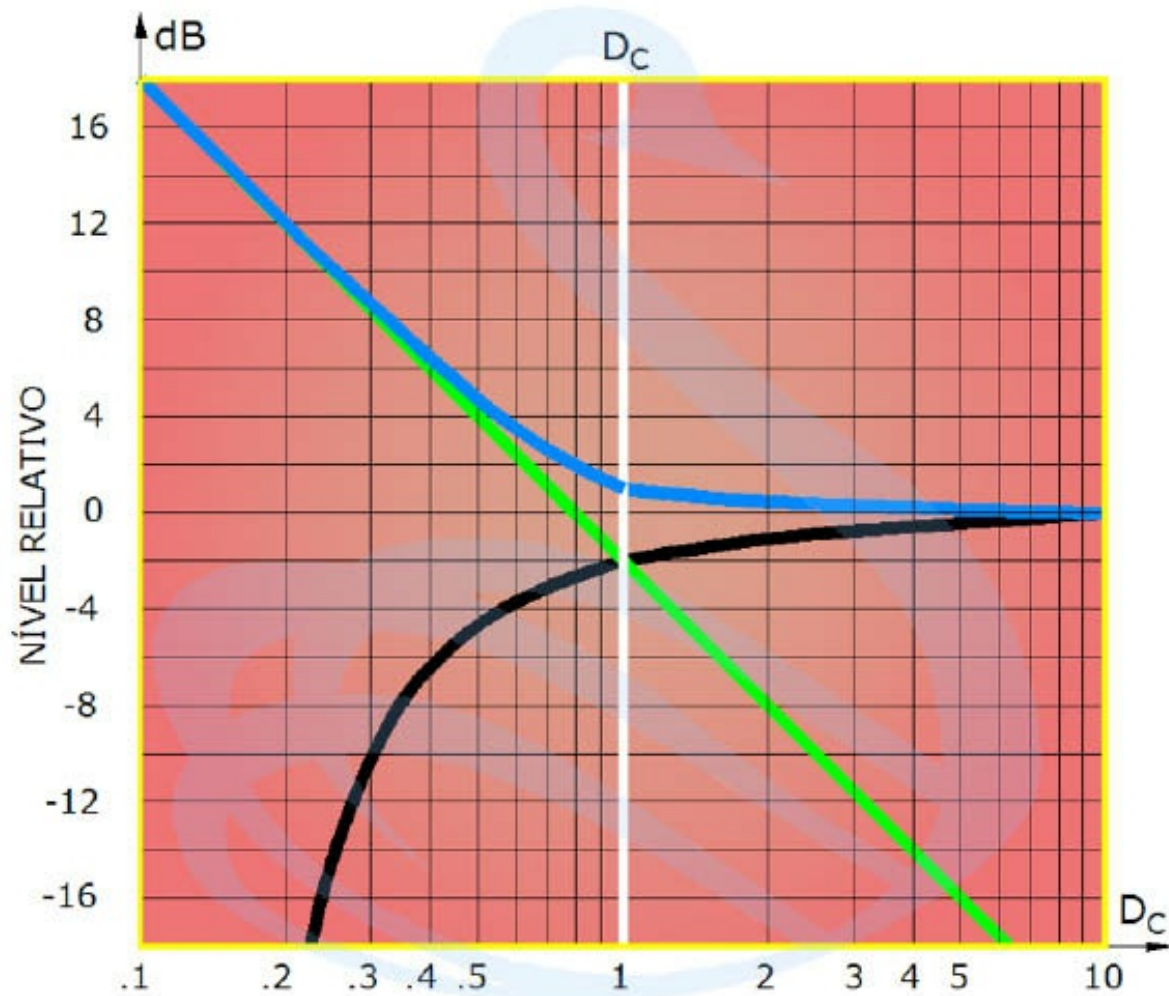


figura 5.15 visualização da Distância Crítica D_C

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma vez que na distância crítica as contribuições dos sons diretos e campo reverberante se igualam, e considerando os trabalhos de Hopkins e Stryker, podemos escrever

$$\frac{Q}{4\pi(D_C)^2} - \frac{4}{S\bar{a}} \quad (5.7)$$

Processando os cálculos, vem

$$D_C = \sqrt{\frac{Q S\bar{a}}{16\pi}} = 0,141 \sqrt{Q S\bar{a}} \quad (5.8)$$

A dependência que D_C guarda dos parâmetros Q e $S\bar{a}$ pode ser melhor avaliada pela observação cuidadosa das figuras 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14.

A figura 5.13 não só mostra essa relação de dependência, como também assinala, para cada curva, a posição de D_C (•), exibindo sua redução em função do aumento de absorção dos ambientes fechados.

5.6 O CONTROLE DA DISTÂNCIA CRÍTICA Analisando a expressão $D_C = 0,141 \sqrt{Q S\bar{a}}$, vemos

que podemos manipular D_c variando Q , ou s_a , ou ambos.

Alterar s_a significa necessariamente tratar acusticamente o ambiente. Mas alterar Q é bem mais simples, e geralmente muito menos caro.

Portanto, podemos dizer que a distância crítica determina a relação de diretividade de um falante na sonorização de um recinto já existente, ou as características acústicas de um recinto a ser construído, quando já se pensa num determinado tipo de falante. A distância crítica pode ter sua expressão aperfeiçoada quando lhe são introduzidos modificadores. Estes são N e M . A expressão fica:

$$D_C = 0,141 \sqrt{\frac{Q s_a M}{N}} \quad (5.9)$$

O conceito de M está associado à maior redução do campo reverberante do que seria de esperar. Isso acontece quando o som radiado pelo falante encontra para sua primeira reflexão acústica uma superfície mais absorvente do que a média do recinto.

Como uma plateia, M pode ser calculado pela expressão

$$M = \frac{1 - \bar{a}}{1 - a_p} \quad (5.10)$$

onde

- M é o operador multiplicador
- $\bar{a}$ é o coeficiente médio de absorção de todo o recinto
- a_p é o coeficiente médio de absorção da superfície mais absorvente sobre a qual incidem os sons diretos

A figura 5.16 mostra um ambiente fechado com $\bar{a} = 0,20$.

O falante concentra sua energia principalmente sobre uma plateia com $a_p = 0,80$.

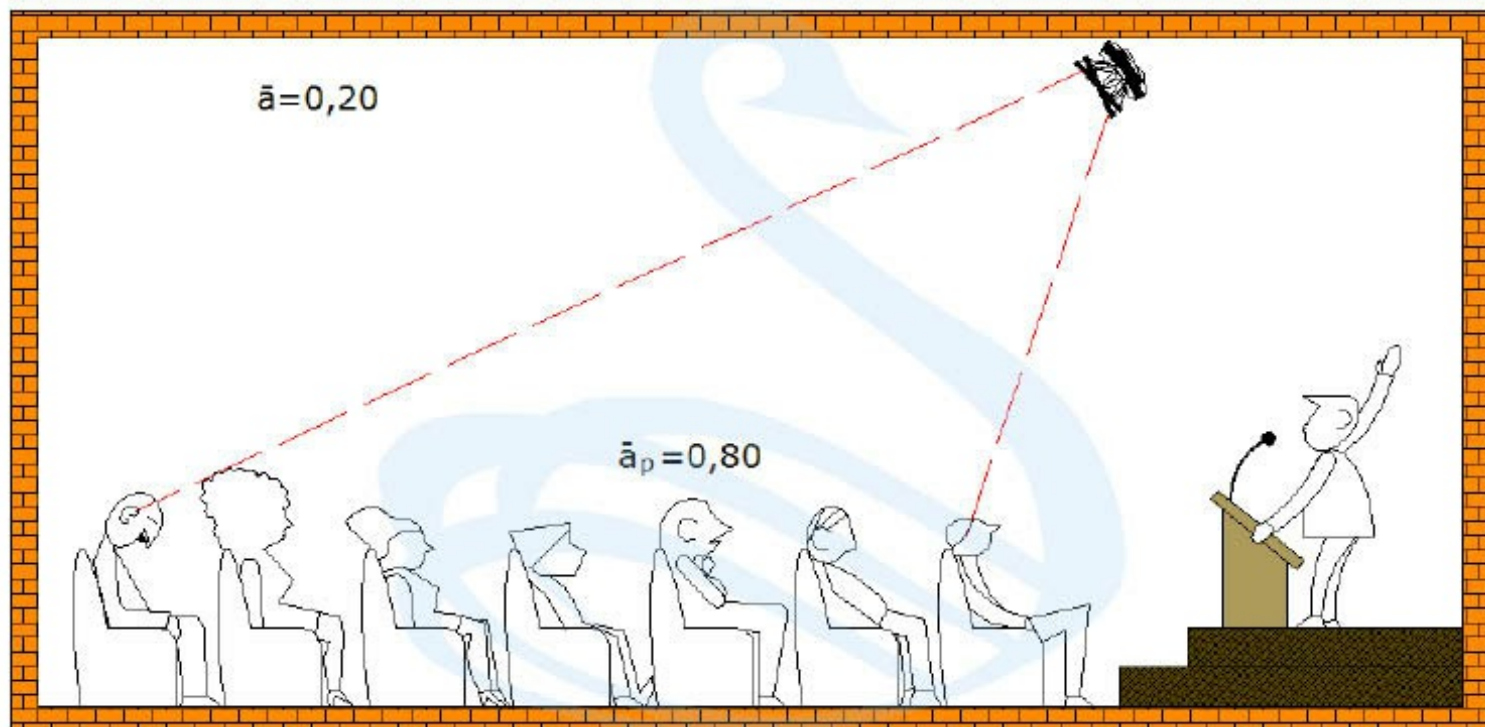


figura 5.16 ambiente fechado com 1 alto-falante, e coeficiente de absorção da platéia bem superior ao coeficiente médio de absorção acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O cálculo de M fica:

$$M = \frac{1}{1 - 0,80} \cdot 0,20 = 4$$

N é a relação entre a potência acústica produzida por todos os falantes de uma sala, que por isso mesmo estão contribuindo para a formação do campo reverberante, e a potência acústica produzida pelo falante ou falantes nesta sala que está radiando sons diretos para o ouvinte. Portanto, os que contribuem para a formação do campo direto.

O recinto da figura 5.17 está equipado com 4 projetores de som. Mas cada um deste está produzindo mais sons diretos para um determinado grupo de ouvintes do que os demais projetores. Logo, N pode ser calculado:

$$N = \frac{4}{1} = 4$$

Uma vez que D_c está determinada, é possível construir uma curva específica como a da figura 5.10, para o caso em questão. E para completá-la basta descer 3,0 dB em relação ao campo total, (em D_c), e traçar a reta 6,0 dB que segue a lei dos inversos dos quadrados, introduzindo-a no gráfico.

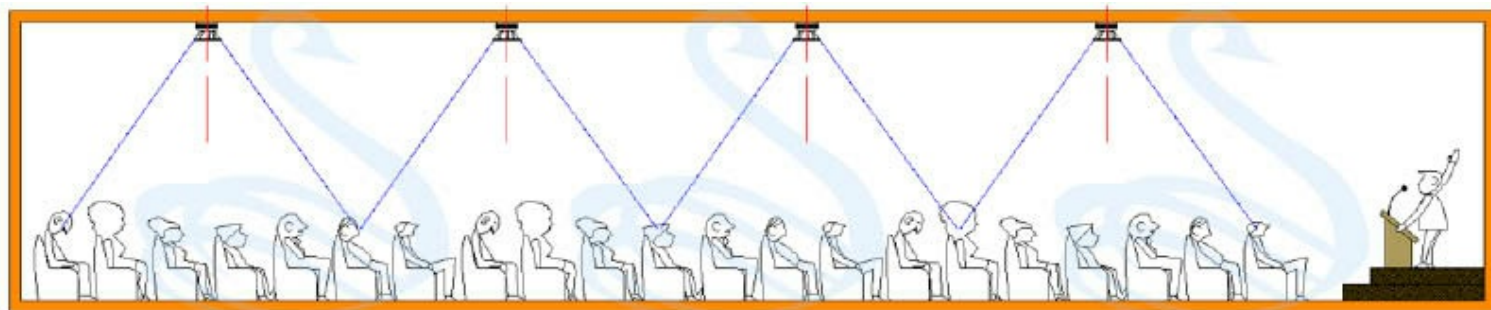


figura 5.17 ambiente fechado com 4 alto-falantes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A distância crítica constitui um dos mais importantes conceitos para o projetista de áudio.

De fato, é na distância crítica que há 3,0 dB de separação acústica entre os sons diretos e o campo reverberante. Microfones colocados em campos reverberantes raramente encontram alterações no nível de pressão sonora capazes de provocar microfonia. Microfones sob forte influência dos sons diretos provenientes dos falantes já estão bastante sujeitos ao inconveniente.

É por essa razão que uma das primeiras normas de dimensionamento seguidas por projetistas de áudio no mundo todo é fazer com que a distância entre qualquer falante e qualquer microfone não seja inferior à distância crítica.

Por motivos que veremos a seguir, microfones e falantes também não deverão estar mais distanciados do que 14,0 metros.

Também veremos a seguir que quando o tempo de reverberação de um recinto supera 1,6 segundos, não deve haver nenhum espectador mais afastado do falante do que 3,16 vezes D_c .

Voltando à figura 5.15, fica evidente que D_c determina a relação entre os campos direto e reverberante.

Tudo isso esclarece bem porque é preciso saber controlar a distância crítica.

5.7 VISUALIZANDO OS CAMPOS

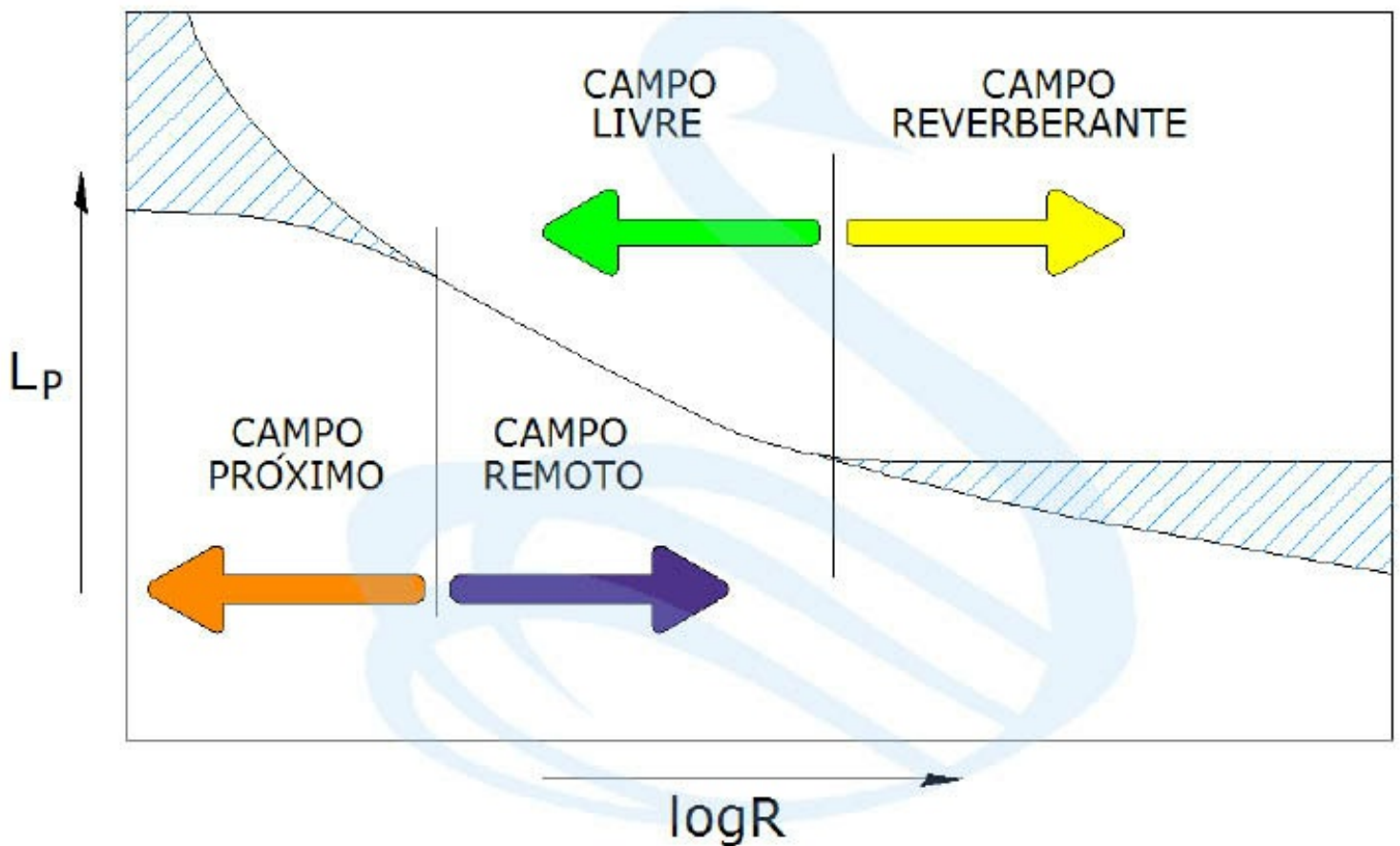


figura 5.18 visualização dos campos próximo, remoto, livre e reverberante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 5.18 mostra graficamente os campos próximo, remoto, livre e reverberante.

Como o nome sugere, o campo próximo está sempre muito próximo da fonte de som. Assim sendo, a velocidade das partículas não acompanha exatamente a direção da propagação das ondas de som.

Portanto, componentes tangenciais de velocidade das partículas podem ser constatados em vários pontos.

O resultado é que, no campo próximo, o comportamento em termos de L_p versus distância não é previsível com muita acuidade.

Já no campo remoto prevalece a lei dos inversos dos quadrados.

O campo livre é aquele caracterizado pela ausência de reflexões. E o campo reverberante é caracterizado por uma queda muito pouco pronunciada do L_p versus distância, ou mesmo por uma tendência de sua manutenção, sempre que a fonte de som estiver produzindo energia numa taxa aproximadamente constante.

5.8 A ACÚSTICA E A MÚSICA Intuitivamente julguei que em algum lugar deste trabalho deveria tentar esclarecer alguns termos, que embora se refiram a coisas semelhantes, são frequentemente usados com sentidos diferentes por técnicos e por músicos. Por outro lado, também vejo a multitude de significados diferentes atribuídos por audiófilos a termos que descrevem fenômenos de mesma natureza.

Mas só poderia pensar em introduzir tal material após termos visto o básico do capítulo 3, e o deste próprio. Mas ainda assim fiquei na dúvida.

Contudo, recentemente, durante o 101^a Convenção da AES, realizada em Los Angeles, tive a rara oportunidade de ter sido convidado para um jantar e uma conversa na casa do incrível mestre Dr. Leo Beranek. Então, comentei sobre este livro, e especialmente sobre os capítulos terceiro e o quinto. O mestre se interessou muito mais do que suponha, e não entendeu o porque da minha dúvida. Numa atitude muito amistosa me encorajou enfaticamente a incluir este pequeno trecho que segue. Mesmo tendo eu dito que já havia planejado cuidadosamente este, que seria o quinto capítulo. Mas quem rejeitar um conselho dado de coração por mestre Beranek ou estará surdo ou ter contraído um grau de loucura irreversível. Todos sabem que conselhos desse naipe são verdadeiros tesouros. Ora, não perdi tempo nem em discutir. E aí estão as informações. Apenas fiz.

Creio que poucos discordarão que tanto os sistemas de som quanto a acústica estão a serviço da música.

Por isso mesmo, são frequentes as confusões dos termos que mencionei. O que parece ser algo universal. Tanto que esse foi o motivo principal que levou o Dr. Beranek a preparar definições para os 18 termos seguintes, todos muito utilizados por músicos (e mesmo por audiófilos), e por técnicos.

- intimidade ou presença
- vivacidade (ou reverberação)
- sensação de espaço - largura aparente da fonte (LAF)
- sensação de espaço - envelopamento do ouvinte (EVO)
- clareza
- calor
- volume
- aura acústica
- brilho
- balanço
- mistura
- ensemble
- ataque
- textura
- ausência de eco
- dinâmica e nível de ruído ambiente
- qualidade tonal
- uniformidade de som

5.8.1 O Ponto de Vista Musical Após incansáveis pesquisas realizadas por anos a fio com músicos e especialistas de todo o mundo, o Dr. Beranek chegou às seguintes definições, entendidas pela ótica do músico: intimidade (ou presença) A intimidade é uma sensação que sugere claramente ao ouvinte o tamanho físico da sala na qual a música é tocada.

Evidentemente, o grau de intimidade depende essencialmente do estilo de música. E para cada estilo há sempre um grau de intimidade mais apreciado, e mesmo mais esperado por uma audiência genérica.

vivacidade (ou reverberação) Para o ouvinte, vivacidade é sinônimo da persistência dos sons após sua parada imediata, como o de um acorde de uma orquestra.

Os termos ambiente **vivo** e **morto**, ou **seco** são genericamente empregados para qualificar salas com tempos de reverberação elevados e curtos, respectivamente.

Entretanto, a vivacidade está relacionada principalmente com a persistência dos sons nas médias e nas altas frequências, especialmente acima de 350 Hz.

Assim, um ambiente poderá soar relativamente vivo, e ainda, ser caracterizado por baixos

tempos de reverberação nas baixas frequências.

sensação de espaço - largura aparente da fonte, ou LAF

Este é um atributo que é assim julgado quando a música chega aos ouvidos do indivíduo dando a nítida impressão de emanar de uma fonte mais larga do que a largura visual efetiva da fonte real.

sensação de espaço - envelopamento do ouvinte, ou EVO

O envelopamento é o segundo ingrediente da sensação de espaço. Ele refere-se à impressão do ouvinte da intensidade e direções de onde parece vir o campo reverberante.

O envelopamento do ouvinte é julgado maior quando os sons refletidos parecem chegar aos ouvidos do ouvinte igualmente de todas as direções.

Este aspecto ganha importância se for mencionado que podemos ouvir a diferença entre os tempos de chegada e localizações dos sons diretos e os dos diversos passos de reflexões.

Pessoas com audição muito boa, e ouvidos treinados, prestando atenção às reflexões ao ouvir sons diretos e refletidos, conseguem localizar exatamente uma parede e até mesmo dizer se uma porta de um ambiente foi aberta ou fechada.

claridade

O julgamento subjetivo da claridade está intimamente relacionado com a grau de separação temporal entre os sons discretos de uma apresentação musical.

A claridade depende de maneira crítica de fatores musicais, além da habilidade e intenção dos músicos. Entretanto, o julgamento dessa propriedade musical é bastante relacionado com os atributos acústicos da sala em questão.

calor

O calor musical é definido como a vivacidade em baixas frequências. Especialmente entre 75 e 350 Hz. Contudo, a medida subjetiva é relacionada com a vivacidade em médias frequências, principalmente entre 350 e 1.400 Hz.

Os músicos costumam empregar o termo dark para qualificar uma audição com vivacidade de baixas frequências em relação às médias, ou ainda, quando a vivacidade em médias frequências é substancialmente reduzida.

volume

Este termo praticamente dispensa definições. Sabemos que sons emitidos em ambientes menores terão mais volume do que se emitidos em ambientes maiores, conservados os tempos de reverberação.

Pelo mesmo motivo, os sons darão mais sensação de volume se produzidos num ambiente mais vivo do que outro, mais amortecido, ambos com as mesmas dimensões físicas.

E isso representa as opiniões de forma generalizada.

aura acústica

Se este termo é novo para você, não se entusiasme. A aura acústica não é uma coisa boa. Trata-se de uma qualidade sônica caracterizada por um timbre duro e ardido. Deve-se a um ITDG muito reduzido, típico da maioria das salas de música residenciais, nas quais o controle do mesmo ITDG dificilmente chega a ser um fator considerado.

brilho

Brilho é a propriedade atribuída a sons ricos em harmônicas.

Nos sons percebidos como brilhantes há predomínio das altas frequências, e o chamado decay é relativamente lento.

Sons excessivamente brilhantes são facilmente obtidos quando o processamento eletrônico é utilizado inadequadamente.

balanço

Para ser considerada música com balanço adequado, este predicado deve tanto ser verificado entre os instrumentos musicais, quanto entre estes e o vocal.

O bom balanço depende bastante da execução musical, mas também da acústica do ambiente.

Em salas de música para execuções de peças musicais ao vivo, o predicado balanço pode ficar muito prejudicado se superfícies refletoras próximas enfatizam exageradamente determinados naipes, ou não dão o suporte devido para os solistas. Afora isto, o balanço depende da maneira de executar a música, das posições dos músicos, e do grau de controle do maestro sobre os mesmos.

mistura

Mistura é o termo empregado para qualificar a música na qual os instrumentos e vocais, todos muito bem misturados, conduzem a uma sensação de audição harmoniosa.

Novamente, o predicado depende da execução musical e da acústica do ambiente.

Do ponto de vista musical, a orquestra ou banda deve estar localizadas de forma tal que o som não seja projetado nem com largura excessiva, nem com profundidade muito pronunciada.

ensemble

Predicado que se refere a habilidade dos músicos tocarem seus instrumentos em uníssono. As notas devem ser iniciadas de forma que as diversas vozes soem como um todo. O ensemble depende muito de que os músicos se ouçam uns aos outros.

ataque

Quando músicos se apresentam num ambiente qualquer, a preferência nítida é para espaços que respondam imediatamente às notas tocadas. Há exceções para isso, contudo, muito raras.

textura

Textura é a impressão subjetiva que os ouvintes automaticamente inferem do padrão de reflexões recebido, e mais particularmente da sequência de chegada das reflexões primárias.

Nos locais considerados acusticamente melhores, as reflexões primárias obedecem a uma sequência bastante uniforme.

Os locais nos quais há um intervalo relativamente grande entre os sons diretos e a chegada das reflexões primárias a textura fica bastante prejudicada. Observa-se que as melhores texturas são subjetivamente percebidas em locais com grande quantidade de reflexões primárias, uniformemente distribuídas, sem que isso signifique que elas se mostrem igual e precisamente espaçadas umas das outras. Ainda, a boa textura depende de não haver nenhuma reflexão primária predominando sobre as demais.

ausência de eco

Agora que sabemos o que é eco, podemos entender que eles podem ser o resultado inadvertido de reflexões em superfícies muito elevadas situadas no forro, ou em superfícies muito afastadas, quer dos músicos, quer da audiência. Naturalmente, essas reflexões são acima de tudo qualificadas por sua capacidade de incomodar. Músicos e/ou audiência.

Elas também podem resultar de superfícies côncavas, capazes de focar sons para pontos específicos no palco ou na platéia.

Os músicos e ouvintes com ouvidos treinados conseguem detectar mais facilmente ecos em ambientes com baixos tempos de reverberação.

dinâmica e nível de ruído ambiente Do ponto de vista musical, dinâmica é a gama total através da qual a música pode ser ouvida ao vivo, ou através de reprodução eletrônica.

Esta gama inicia com os sons mais débeis que podem ser ouvidos, sendo o limite para isso o nível de ruído ambiente, ou NRA, e termina com os níveis mais elevados que podem ser produzidos pelos músicos, ou pelo equipamento eletrônico. Neste caso, sem grau apreciável de distorções.

Todas as fontes de som não relacionadas com a atividade musical específica, a exemplo de

ruídos de tráfego, de aeronaves, e outros, são muito incômodos, razão pela qual devem ser evitados.

qualidade tonal

Qualidade tonal é algo muito subjetivo, e refere-se à beleza natural dos tons. Como os instrumentos musicais de alta qualidade, também é desejável que os recintos fechados sejam portadores dos predicados que resultem em qualidade tonal agradável.

A qualidade tonal pode ser facilmente comprometida de inúmeras formas. Por exemplo, quando uma superfície metálica vibra produzindo sons indesejáveis, ou quando barras metálicas são colocadas na frente de órgãos de fole, e vibram produzindo som em uníssono com determinadas notas musicais. Também não é rara uma forma toda especial de distorção, provocada pelas próprias superfícies da sala, acrescentando sons desagradáveis àqueles produzidos pela orquestra. Uma das saídas para este caso é trabalhar com pequenas irregularidades, que são aplicadas às superfícies refletoras “planas”.

Outro fenômeno que ocorre em alguns assentos das salas, mesmo nas melhores do mundo, é um efeito denominado “mudança da fonte”. Trata-se do resultado dos sons refletidos em determinadas superfícies, que focam grandes quantidades de energia sobre partes relativamente pequenas da platéia. Quando isso ocorre, os ouvintes situados nessa parte da platéia julgam que a direção dos sons está muito mais para as superfícies refletoras que provocam o fenômeno, do que para a fonte verdadeira.

uniformidade de som Muitos músicos e pessoas experientes no áudio se queixam da falta de uniformidade de som em determinados locais das salas de música. Especialmente sobre mezaninos, e nas partes laterais das primeiras filas, ou ainda, em certos pontos nos quais se constata facilmente a produção de ecos, ou de sons que se aproximam dele, ou ainda, onde se verifica uma forma toda própria de “abafamento dos sons”, e o pior, ausência de clareza.

Os músicos usam o termo “pontos mortos” para indicar tais locais, nos quais o som não é tão uniforme quanto no restante do recinto. Acusticamente falando, “pontos mortos” são locais nos quais a música se torna particularmente fraca em comparação com outros lugares da mesma sala.

5.8.2 O Ponto de Vista Técnico As sensações a que se referem os termos acima definidos podem ser relacionadas com as propriedades acústicas das salas, como segue.

intimidade (ou presença) Em princípio, não é necessário que uma determinada sala tenha um tamanho pré estabelecido para que se tenha o grau de intimidade desejado. É apenas preciso que a sala soe como se seu tamanho fosse o mais adequado.

A intimidade é muito dependente do ITDG, e também do nível global de energia, uma vez que os ouvintes assumem que a música é tocada com mais intensidade em ambientes menores.

Como mencionado anteriormente, nas melhores salas de música do mundo o ITDG é sempre da ordem de 20 milissegundos. Agora acrescento, nas melhores salas do mundo o ITDG jamais é inferior a 15 milissegundos, ou superior a 30 milissegundos. E uma das principais razões disso é a excelente intimidade resultante.

vivacidade (ou reverberação) Já vimos o que é tempo de reverberação, e quais são as figuras mais recomendadas para quaisquer volumes físicos e tipos de programa.

Entretanto, há ainda dois ingredientes que se combinam para aumentar o grau de vivacidade de uma sala.

O primeiro é o tempo durante o qual persistem as reflexões primárias, ou seja, o tempo $t_3 - t_2$ de nossa figura 5.4. O segundo é a relação entre os níveis de energia constatados entre o campo reverberante e as reflexões primárias.

sensação de espaço Uma das mais recentes aquisições da acústica arquitetônica foi a incorporação de um indicador da qualidade acústica de uma sala qualquer, que é o atributo da espacialidade. Ele vem em formato dual, englobando a LAF (Largura Aparente da Fonte), e o EVO (Envolvimento do Ouvinte).

A LAF refere-se somente às reflexões primárias, e o atributo é julgado consensualmente como o que de fato governa a sensação de espaço, e ainda, um dos mais importantes determinantes da qualidade acústica de uma sala qualquer.

O EVO, por seu lado, refere-se exclusivamente ao campo reverberante.

Uma vez que a LAF é tão importante, vamos entrar mais um pouquinho em seus detalhes. Uma vez que este não é um atributo objetivo, não há como medi-lo objetivamente. Por outro lado, é possível ter uma medida dele fazendo a medição de um fator chamado Coeficiente de Relação Cruzada Interaural, ou CRCI_{RP} . O sufixo RP indica que a medição leva em conta as reflexões primárias. Este fator indica o grau de dissimilaridade dos sons musicais que atingem nossos dois ouvidos. Quanto menos similares são os sons interaurais, menor é o coeficiente CRCI_{RP} , e maior o valor da LAF. O valor da LAF também é afetado pelo nível de execução da música para as passagens de baixas frequências. Trata-se de uma figura usualmente estabelecida em decibels, e denominada G_{BF} . Em princípio, quanto mais elevado o valor da LAF melhor.

Para que se pudesse dispor de parâmetros de referência para o CRCI_{RP} , e para G_{BF} , o Dr. Beranek conduziu uma série de medidas em várias salas de música por todo o mundo.

A expressão utilizada para calcular o CRCI é:

$$CRCI_{\tau}(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p_L^2(t) p_R(t+\tau) dt}{\int_{t_1}^{t_2} p_L^2 dt \int_{t_1}^{t_2} p_R^2 dt} \quad (5.11)$$

onde:

- L e R designam as entradas para os ouvidos, respectivamente o esquerdo e o direito
- τ é tempo total de integração, usualmente estabelecido entre -1 e +1 segundo, uma vez que o tempo de viagem do som de um até outro ouvido é da ordem de 1 milissegundo
- t_1 é o momento da chegada do som direto a qualquer dos ouvidos, o que ocorrer primeiro
- t_2 é o momento que define o encerramento do período τ

claridade

No jargão técnico, o termo claridade é usado de forma intercambiável com definição.

Há duas espécies de claridade. A definição horizontal e a vertical.

A definição horizontal refere-se ao grau que os sons seguem sucessivamente uns aos outros. Assim, o compositor pode estabelecer alguns fatores que afetam a definição horizontal, a exemplo do andamento, repetições de tons numa frase musical, e os níveis de energia que guardam entre si sons sucessivos. Os fatores acústicos que afetam a definição horizontal são o tempo de reverberação e a relação de energia entre as reflexões primárias e o campo reverberante.

A definição vertical refere-se ao grau de separação que podemos perceber entre sons que são executados simultaneamente. A definição vertical também depende bastante de fatores musicais, do músico que executa a peça, da acústica da sala, e da qualidade auditiva do ouvinte. O compositor estabelece a definição vertical pela escolha dos tons tocados simultaneamente, e sua relação com os imediatamente anteriores e posteriores. Os músicos podem alterar a definição vertical mudando os níveis dos sons produzidos simultaneamente, e também, por introdução de uníssonos menos precisos.

Naturalmente, a definição vertical também varia em cada ponto de uma sala, uma vez que para local haverá uma combinação distinta dos instrumentos tocados ao vivo, ou reproduzidos eletronicamente.

Os atributos acústicos também podem estar mais ajustados para um determinado tipo de música, de maneira a realçar ou não a claridade. Após profundos estudos a respeito, mestre Beranek afirma que Mozart sabia muito bem que seu estilo de música soava melhor em ambientes nos quais a relação entre a energia primária e a reverberante era elevada. Isto é, nos

quais o campo direto era predominante.

A claridade também está relacionada com a velocidade com que a música é tocada.

calor

O predicado calor é diretamente dependente do tempo de reverberação em baixas frequências. Para que uma sala ofereça este predicado é indispensável que seu RT_{60} em baixas frequências não seja inferior ao das médias frequências. Para salas que comportam grande número de pessoas, a medição só é válida com o recinto cheio, porque platéias absorvem consideravelmente sons de médias e altas frequências.

Neste momento entra em cena um outro termo, denominado coloração tonal. Trata-se do balanço relativo como percebido entre os tons de baixas, médias e altas frequências.

Assim, se uma determinada sala apresenta calor com um certo exagero, a coloração tonal é prejudicada. Por outro lado, a falta de calor se faz acompanhar sempre pela coloração tonal, traduzida pela falta de material em baixas frequências.

volume

O volume como percebido numa sala é função da energia sônica dividida pela quantidade de pessoas presentes na audição. A absorção acústica imposta pelas pessoas no ambiente, pelos móveis e por materiais em geral reduz esta quantidade de energia.

O volume de som numa particular posição de uma sala também é dividido em duas partes: reflexões primárias e campo reverberante.

O “volume das reflexões primárias” é determinado pela energia dos sons que chegam diretamente da fonte, ou sons diretos, mais a energia recebida das reflexões primárias, usualmente calculadas para um tempo de até 80 milissegundos após a chegada do correspondente som direto que as produz.

O “volume do campo reverberante” é determinado pela quantidade total de energia que chega ao ouvinte no período que sucede os 80 milissegundos após a chegada dos sons diretos.

Há um consenso entre os muitos laboratórios de pesquisa psicoacústica de que o volume da música está muito correlacionado com a quantidade conhecida como fator de força G, medida em decibels, ou fator de claridade, C_{80} , também expresso em decibels. Trata-se da relação entre a energia das reflexões primárias havidas nos primeiros 80 milissegundos, contados a partir do recebimento do som direto, e a energia reverberante, recebida após esses 80 milissegundos, até 3 segundos contados do recebimento do som direto. Seu cálculo pode ser feito através da expressão:

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{0,08} p^2(t) dt}{\int_{0,08}^{\infty} p^2(t) dt} \quad (5.12)$$

aura acústica

Vimos que a aura acústica deve-se a um ITDG muito reduzido.

O efeito costuma ocorrer por força de sons refletidos em superfícies muito próximas de onde os músicos estão tocando.

Na prática verifica-se que a acústica dos locais mais antigos, incluindo-se aí aqueles construídos em séculos passados, dificilmente possibilita a percepção da aura acústica. Isto porque as superfícies internas desses recintos geralmente são caracterizadas por irregularidades, aparentemente feitas com esse propósito, bem como em razão das formas

arredondadas e dos entalhes típicos de praticamente todas as formas de decoração barroca e de ornamentação plástica.

Nas construções mais modernas, de formas mais retilíneas, o fenômeno é um tanto ou quanto comum. A saída mais fácil para ele é identificar as superfícies que provocam a inconveniência, torná-las mais irregulares, ou ainda, revesti-las com superfícies curvas, ou também, aplicar os difusores dos quais tratamos no capítulo 3.

brilho

São dois os fatores acústicos que estão relacionados com o brilho dos sons numa sala. O tempo de reverberação em médias frequências em relação aos das demais frequências, especialmente as baixas, e o fator de claridade G_{MID} calculado como na expressão 5.12, mas para as médias frequências.

A medição desse fator é feita para 500 e 1.000 Hz, e o valor é sempre uma média obtida de no mínimo 20 medições, cada qual feita numa posição diferente da sala, sempre com o mesmo nível de sinal acústico produzido pelos alto-falantes.

Em salas com cadeiras muito estofadas, é comum que o G_{MID} medido seja mais elevado quando há pessoas sentadas nessas cadeiras, em relação ao espaço vazio.

As pesquisas levadas a cabo pelo Dr. Beranek mostram de forma clara, e até certo ponto de maneira surpreendente, que o tempo de reverberação nas altas frequências não guarda forte relação com o brilho dos sons.

balanço

Em 1991, logo após ter regido a Boston Symphony Pops Orchestra executando a peça Stars and Stripes Forever, no Boston Symphony Hall, Bradley declarou que, para seus ouvidos, cada seção de instrumentos da orquestra estava em perfeito balanço com os demais. E ainda que o balanço entre as várias frequências estava ideal.

Ocorre que nesta sala de música sinfônica, o palco é pequeno para os padrões atuais de tamanho, e com isso, nenhum instrumento está mais afastado de qualquer outro do que 9,2 metros.

O palco do Concertgebouw de Amsterdã tem aproximadamente o mesmo tamanho que o do Boston Symphony Hall. E após reger por meses a fio no Concertgebouw, o maestro Eugene Ormandy confidenciou a Beranek que ele escutava uma mescla de sons, com balanço orquestral pobre.

A razão para isso é que a parede de fundo do palco do Concertgebouw é bastante absorvente, não oferecendo reflexões primárias suficientes, ao menos para o maestro, já que a acústica da casa é considerada das melhores do mundo.

Isto significa que a ausência dessas reflexões impede que os músicos se ouçam

adequadamente uns aos outros. E disto resulta uma série de inconvenientes, entre os quais a perda de balanço. A forma de corrigir tal inconveniente é utilizar painéis refletores, a distâncias corretas para devolver o grau de reflexões primárias necessário.

mistura

Do ponto de vista meramente acústico, a mistura depende bastante dos tamanhos, localizações e orientações das superfícies refletoras nas proximidades do grupo musical.

Apenas para efeito de exercício, imagine um palco irregular, no qual uma das paredes laterais seja muito reflexiva, e a outra parede lateral, oposta à primeira, seja bastante absorvente. Imagine também que a metade da parede de fundo do palco mais próxima da parede lateral absorvente também foi feita absorvente, e que a outra metade, próxima da parede reflexiva, também é reflexiva.

Torna-se óbvio que a diferença entre as reflexões primárias provenientes dos instrumentos situados nas duas metades do palco será pronunciada. O resultado será uma mistura pobre.

O melhor a fazer é distribuir adequadamente as superfícies absorventes e refletoras, de modo que as reflexões primárias provenientes do palco como um todo sejam muito semelhantes, independente de onde os instrumentos possam ser tocados.

ensemble

Do ponto de vista técnico, a acústica deve ser elaborada para que os músicos se ouçam uns aos outros.

Para tanto, os parâmetros envolvidos estão relacionados com a utilização de superfícies refletoras próximas aos músicos, que podem ser parte da própria arquitetura, ou não, mas que devem ser capazes de refletir os sons de cada parte do palco para as demais.

ataque

O ataque, como julgado pelos músicos, está intimamente relacionado com o tempo de chegada das reflexões de primeira até quinta ordem aos ouvidos dos executantes.

Se há falta dessas reflexões, ou elas são apenas providas pelas superfícies muito próximas aos executantes, ocorre a sensação de falta pronunciada do ambiente acústico.

Se as reflexões são muito retardadas, o efeito é bastante desagradável, podendo chegar a atingir o eco.

Portanto, o ideal é controlar a intensidade e tempo de chegada dessas reflexões por todo o espaço do palco, o que significa localizar e orientar adequadamente as superfícies refletoras nas proximidades do palco.

textura

Certamente um dos grandes méritos do trabalho de Beranek é ter definido os atributos dos

sons de forma jamais pensada antes. Mas mérito tão grande quanto este é possibilitar que os atributos subjetivos sejam medidos objetivamente.

A textura é um exemplo disso, já que trata-se de um atributo que pode ser medido facilmente e com muita precisão.

Inicialmente posicionamos o microfone de teste num local escolhido da sala. A seguir geramos um transiente acústico. E o microfone captará o sinal direto e todas as reflexões produzidas por um período.

O transiente pode ser gerado por um gerador de “burst”.

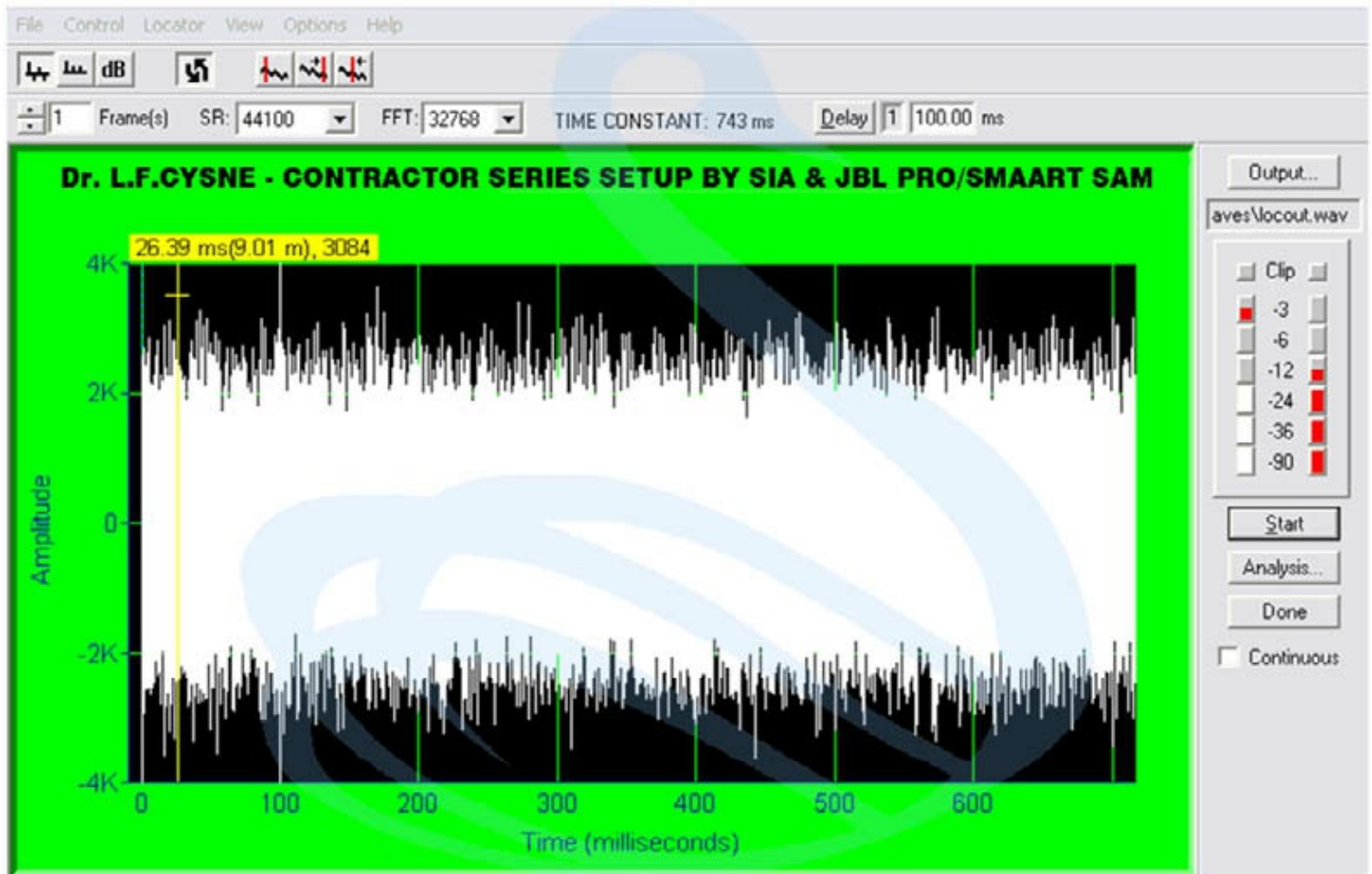


figura 5.19 análise de um arquivo de impulso feita pelo Smaart acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Também é possível gerar um som do tipo “BEEP” de duração bem curta. De preferência com o falante de prova localizado no palco. Enquanto isso, as medições são tomadas com o microfone de teste afastado do palco cerca 2/3 do comprimento total da sala.

O software que utilizei, o Smaart, possui recursos de sobra para produzir arquivos de impulso. E ele pode fazer isso a partir de qualquer música ou locução que se queira. Basta que o programa tenha um mínimo de dinâmica.

Em qualquer caso a medição é sempre uma simples tomada de energia versus tempo.

O material colhido poderá ser então analisado.

Não estou apresentando o arquivo de impulso, mas seu primeiro processamento feito pelo Smaart. Veja a figura 5.19.

Volte um pouco atrás e reveja a conceituação de textura, como apresentada pelo lado

musical.

Pois bem, as reflexões podem ser facilmente visualizadas no gráfico e a textura avaliada com muitos detalhes. Porque podemos expandir a tela sem limites, tanto na dimensão horizontal quanto na vertical. Podemos ver que a quantidade de reflexões primárias é relativamente grande, e seu espaçamento bastante regular e bem distribuído.

Vemos que essa mesma característica se mantém para todo o restante do campo reverberante. Indicando que a textura do som tenderá a ser boa. Olhe para a figura 5.19 e localize as 3 janelinhas imediatamente acima da janela SR que está com o valor 44100.

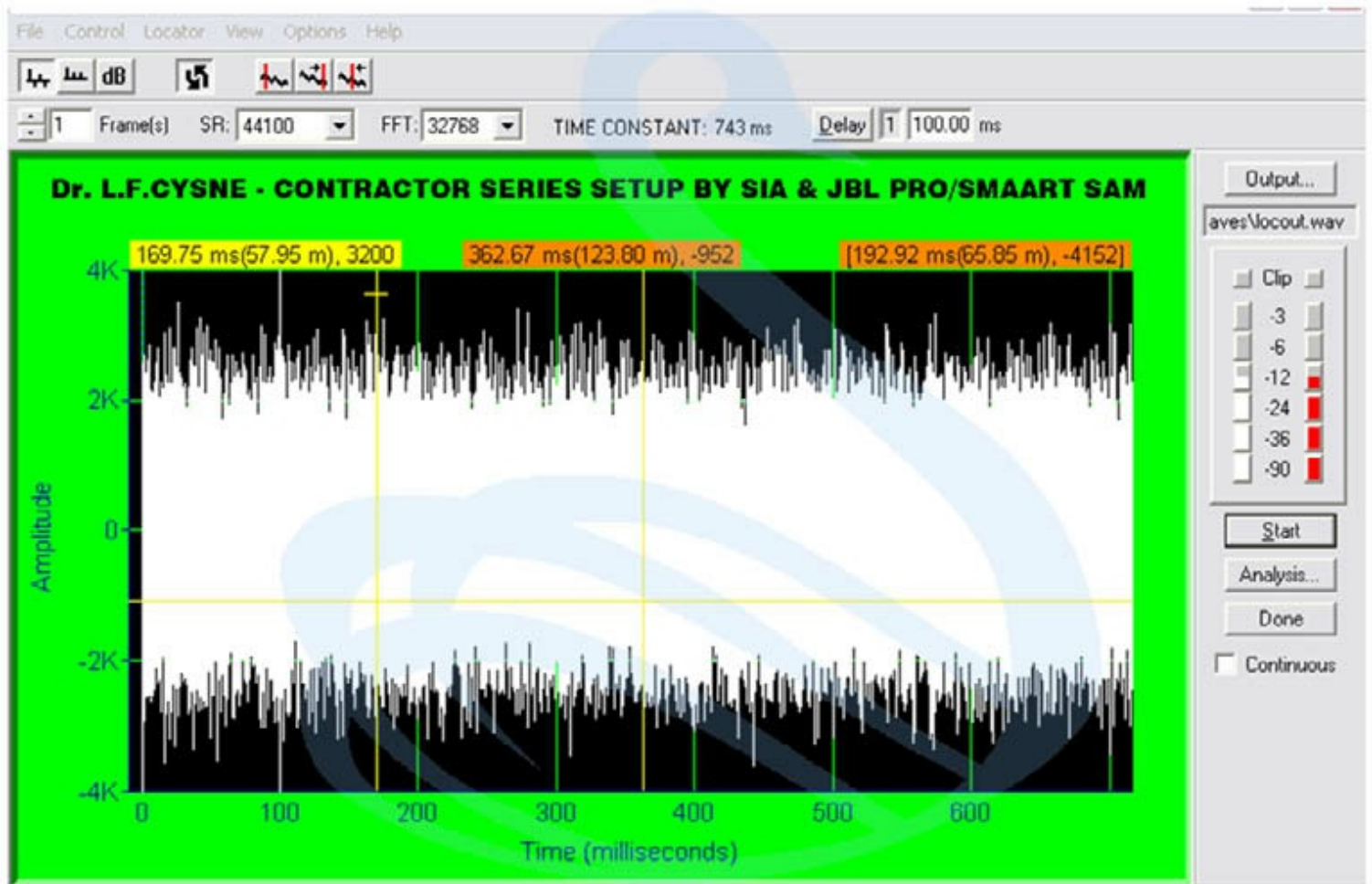


figura 5.20 análise de um arquivo de impulso feita pelo Smaart acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Essas 3 janelinhas têm a função de nos ajudar a localizar os picos mais elevados, sejam eles do sinal direto ou de reflexões.

Se a primeira da esquerda for acionada, o cursor vai parar no primeiro pico partindo da esquerda.

Veja também que a figura mostra o cursor naquele ponto, que corresponde ao recebimento do sinal direto.

A janelinha amarela bem acima da área gráfica informa os dados referentes a essa posição do cursor: lá está o tempo 26,39 ms e a distância 9,01 metros.

Bem, essa foi a distância real que medi entre a fonte de som e a posição que selecionei para o microfone de teste. Fiz isso para conferir o valor informado pelo software.

Creio que vocês já pegaram a manha.

Agora, acionamos a janelinha do meio e o cursor se move para o primeiro à direita do anterior. Que representa exatamente o recebimento da primeira reflexão.

Veja então a figura 5.20.

O cursor está sobre o pico, cujas referências são 169,75 ms e 57,95 metros.

Se subtrairmos dos 169,75 ms os 26,75 ms da figura 5.19, chegamos a 143,0 ms.

Lembram o que é isso? Isso mesmo, o ITDG. E essa é a forma de medi-lo.

A estas alturas sabemos que esse ITDG foge e muito dos padrões recomendados para uma sala com boa acústica.

O local onde fiz essas medições é um espaço de porte médio em São Paulo, do qual o proprietário se queixava do “efeito Credicard Hall”. Fiquei surpreso quando ele me informou que já havia feito um tratamento acústico. Bem, ele o que ele fez foi uma espécie de “tratamento acústico”. Das que não recomendo para ninguém fazer.

Antes de fazer qualquer medição fiz várias audições no local. Fiquei realmente impressionado com a intensidade do problema. Era mesmo um problemão.

Acho que se o João Gilberto estivesse lá ele não aguentaria dois segundos.

Então parti para as medições. E o Smaart não só confirmou que as reclamações eram procedentes, como mostrou exatamente de onde vinham as reflexões que precisavam ser controladas.

É possível chegar precisamente a isso, trabalhando-se com várias posições da fonte de som e do microfone de teste, já que as distâncias são sempre definidas com elevada precisão.

Por exemplo, o Smaart informou as distâncias 57,95 metros e 9,01 metros. A diferença é 48,94 metros. Lembrando que o som é direto da fonte para o microfone, basta procurar um ponto 48,94 metros distante da posição do microfone. Como sabemos que a superfície que procuramos é consideravelmente reflexiva, dificilmente não a encontramos logo de cara. Mas se não o fizermos, bastará fazer mais uma ou no máximo mais duas medidas. E partir para tratar o local de forma puntual.

Então, além do ITDG essas medições são muito úteis para nos ajudar a localizar precisamente problemas como os reportados.

Que, acreditem, estão como praga em praticamente todos os locais.

Do mesmo modo podemos analisar a existência de problemas acústicos relacionados com as ondas estacionárias.

ausência de eco

As reflexões contidas nos primeiros 35 ou 40 milissegundos após o recebimento do som direto são sempre um aspecto acústico positivo.

As reflexões recebidas depois disso só serão benéficas se precedidas por reflexões de alta

densidade, ou seja, em grandes quantidades, todas chegando numa sequência mais ou menos regular, com nível de intensidade que se reduz com o tempo.

Se uma só dessas reflexões for de nível muito superior às que lhe precedem, ou às que lhe sucedem, então esta poderá ser percebida como eco.

Vimos que os gráficos da figura 5.19 e 5.20 ajudam a investigar a ocorrência de ecos.

As formas de correção deste problema englobam um grande elenco de alternativas.

Começando com tratamentos específicos aplicados às superfícies que concentram as reflexões de maior intensidade (que podem ser facilmente localizadas pelos gráficos citados, ou com a ajuda de instrumental).

Depois, passando pela aplicação de difusores como os discutidos no capítulo 3, e terminando com procedimentos semelhantes ao ilustrado na figura 6.40 do capítulo 6.

Exemplo disso ocorreu no Carnegie Hall de Nova Iorque.

Reinaugurada a casa após a restauração de 1986, os músicos que tocavam no palco se sentiam incomodados por ecos.

Análises preliminares mostraram que de fato haviam ecos, e que eles eram provenientes da parede de fundo do pavimento principal.

Também foram detectados todos os componentes problemáticos, sempre de altas frequências. A seguir foram aplicados difusores tipo QRD na parede em questão, localizados bem abaixo do balcão que dá origem ao segundo pavimento.

Isto resolveu o problema de maneira exuberante.

É o que nos mostra a figura 5.21.



figura 5.21 QRD's instalados na parede do fundo do Carnegie Hall, Nova Iorque acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
dinâmica e nível de ruído ambiente Os ruídos mais incômodos que são encontrados nos recintos fechados, e que de fato prejudicam a obtenção da dinâmica adequada, são devidos a aberturas de ventilação e condicionamento de ar, máquinas em geral, metrô, aeronaves e tráfego de veículos.

Vibrações também são problemáticas, especialmente as produzidas por máquinas e metrô correndo próximos ao recinto.

A recomendação aqui é para que se obtenha um nível de ruído que não exceda a curva NC10 analisada no capítulo 3. As ferramentas para obter esse nível de ruído ambiente, que deve prevalecer para casa vazia, são todas discutidas no mesmo capítulo 3.

A dinâmica também pode ser prejudicada por equipamento de som incapaz de produzir os níveis de pressão sonora desejados, dentro das limitações de distorção. A forma mais segura de agir é dimensionando o sistema, como detalhado no capítulo seguinte.

qualidade tonal

Vimos antes que os fatores acústicos capazes de degradar a qualidade tonal de uma sala de música são superfícies ou objetos em vibração, produzindo som de maneira indesejável, e superfícies que concentram reflexões.

O exame cuidadoso de uma sala com baixa qualidade tonal pode revelar a maioria desses inconvenientes, que por vezes são de detecção mais trabalhosa. Descobertas as superfícies, as estruturas e objetos vibrando, a correção geralmente é imediata, consistindo na maioria das vezes no bloqueio da vibração. Às vezes isso implica em eliminar um ou mais objetos da sala, ou remover ou realocar uma superfície.

Quando o efeito “mudança da fonte” é problemático, as superfícies que o provocam devem ser localizadas e tratadas de acordo. Usualmente a forma de tratamento é a aplicação de difusores acústicos.

uniformidade de som A uniformidade de som costuma ser consequência das próprias características arquitetônicas de cada local. Aqui, a ajuda acústica apenas se relaciona com a eliminação de ecos, que são notórios responsáveis pela falta de uniformidade de som.

O restante da ajuda pode ser dado com o correto dimensionamento do sistema de som, especialmente a localização criteriosa dos falantes, o que é praticamente obrigatório em regiões acusticamente menos favoráveis das salas, a exemplo das áreas de platéia sob balcões e mezaninos.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 6 projeto de sistema de sonorização



6. PROJETO DE SISTEMA DE SONORIZAÇÃO

6.1 REFLEXÕES SOBRE PROJETOS

6.1.1 Introdução

6.1.1.1 Estudo Preliminar 6.1.1.2 Anteprojeto 6.1.1.3 Projeto Básico 6.1.1.4 Projeto Executivo 6.1.2 Porque o Projeto é Indispensável 6.2 REQUISITOS ESSENCIAIS 6.2.1 Cobertura Sônica 6.2.2 Nível Adequado 6.2.3 Inteligibilidade 6.2.4 Resposta de Frequência 6.3 PREPARAÇÃO

6.4 O DIMENSIONAMENTO ELETROACÚSTICO

6.4.1 Localização dos Falantes 6.4.1.1 Cluster

6.4.1.2 Fonte Única e Cluster Central 6.4.1.3 Fonte Múltipla 6.4.1.4 Falantes Distribuídos (Overhead) 6.4.1.5 Pew Back 6.4.1.6 Combinações 6.4.1.7 Fonte Única Dividida - Um Caso Especial 6.4.1.8 Estereofonia 6.4.1.9 Atraso de Sinais 6.4.2 Inteligibilidade 6.4.2.1 Definição de Inteligibilidade 6.4.2.2 Fatores Que Afetam Diretamente a Inteligibilidade 6.4.2.3 Pesquisa Relacionada com a Inteligibilidade 6.4.2.4 Fala Humana e Princípios da Fonética 6.4.2.5 O Reconhecimento da Palavra e da Fala 6.4.2.6 A Importância da Inteligibilidade 6.4.2.7 Como Prever a Inteligibilidade Ainda na Fase de Projeto 6.4.2.8 Algumas Limitações 6.4.2.9 Ajustando Parâmetros 6.4.2.10 Avaliação da Inteligibilidade da Palavra 6.4.3 Armas contra a Microfonia 6.4.3.1 Ganho Acústico 6.4.3.2 Ganho Acústico Necessário (NAG) 6.4.3.3 Ganho Acústico Potencial (PAG) 6.4.3.4 Ganho Acústico Suficiente (SAG) 6.4.3.5 Limitações 6.4.3.6 Microfones e Alto-falantes Direcionais 6.4.4 Nível de Programas, Margens e Potência Elétrica Necessária (EPR) 6.4.5 Roteiro de Dimensionamento 6.5 ARQUITETURA DE SISTEMA E DIAGRAMA DE BLOCOS 6.5.1 Falantes e Amplificadores 6.5.2 Tipos e Quantidades de Mixers 6.5.2.1 O Mixer Capaz de Realizar Todo o Trabalho 6.5.2.2 O Mixer Frente da Casa 6.5.2.3 Monitor de Palco 6.5.2.4 Gravação 6.5.3 Periféricos 6.5.3.1 Para Frente da Casa 6.5.3.2 Para Monitor de Palco 6.5.3.3 Para Gravação 6.5.4 A Sequência dos Periféricos 6.5.4.1 A Técnica do Expansor Antes do Compressor 6.5.4.2 Noise Gate x Compressor 6.5.4.3 Harmonizer, Exciter e Efeitos x Compressor 6.5.4.4 Harmonizer, Exciter e Efeitos x Equalizador 6.5.4.5 Compressor x Equalizador 6.5.5 Necessidade de Diferentes Respostas de Frequência 6.5.6 A Flexibilidade dos Patchbays 6.5.6.1 Substituições 6.5.6.2 Reconfigurações 6.5.6.3 Monitoração 6.5.6.4 Instrumentação 6.5.7

Condicionantes 6.6 A ESCOLHA E INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

6.6.1 Especificações e Recursos 6.6.2 Padrão de Qualidade 6.6.3 Preços

6.6.4 Familiarização do Cliente com o Produto e Padronização 6.6.5 Simplicidade Operacional 6.6.6 Assistência Técnica e Peças 6.6.7 Disponibilidade no Mercado

6.6.8 OK, Mas em Versão Atualizada 6.6.9 Homogeneidade de Conjunto 6.6.10

Garantias

6.6.11 O Processo de Escolha 6.6.12 Os Produtos e a IEM

6.7 O QUE É A INSTALAÇÃO

6.8 GERÊNCIA TÉRMICA 6.8.1 Introdução

6.8.2 Fundamentos Conceituais 6.8.2.1 Produção de Calor 6.8.2.2 Vida Útil, Confiabilidade e Qualidade 6.8.2.3 Calor versus Vida Útil 6.8.2.4 Equilíbrio Térmico

6.8.3 Terminologia 6.8.4 Remoção de Calor 6.8.4.1 Estimativas Preliminares 6.8.4.2 Fundamentos do Condicionamento de R por Processos Evaporativos 6.8.4.3 Visão de

Conjunto 6.8.5 calor gerado pelos equipamentos 6.8.5.1 Mixers

6.8.5.2 Processadores 6.8.5.3 Amplificadores 6.8.6 princípios gerais 6.8.7 técnicas de remoção de calor dos racks 6.8.7.1 O Método Passivo 6.8.7.2 O Método Ativo da Exaustão 6.8.7.3 O Método Ativo da Pressurização 6.8.7.4 O Método Ativo da Exaustão + pressurização 6.8.7.5 O Método de Arrefecimento Assistido por Trocador de Calor 6.8.7.6 O Método de Arrefecimento Assistido por Condicionamento de Ar por Fornecimento Objetivo para Um Único Rack de Equipamentos 6.8.7.7 O Método de Arrefecimento Assistido por Condicionamento de Ar por Fornecimento Objetivo para Um Grupo de Racks de Equipamentos 6.8.7.8 O Método de Arrefecimento Assistido por Condicionamento de Ar Preferência para Corredores para Um Grupo de Racks de Equipamentos 6.8.7.9 O Método de Arrefecimento Assistido por Condicionamento de Ar Preferência para Racks para Um Grupo de Racks de Equipamentos 6.8.7.10 O Método de Arrefecimento Utilizando Água Gelada para Um Grupo de Racks de Equipamentos 6.8.7.11 Métodos Híbridos para Um Grupo de Racks de Equipamentos 6.8.8 equipamentos para a Gerência Térmica 6.8.8.1 Racks 6.8.8.2 Acessórios 6.9 INFRAESTRUTURA

6.10 DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO

6.10.1 Materiais Acústicos Especiais e Detalhes de Montagem 6.10.2 Rede de Eletrodutos 6.10.3 Localizações e Orientações das Caixas Acústicas 6.10.4 Diagrama de Blocos 6.10.5 Diagramas de Identificação de Cabos 6.10.6 Diagramas de

Cabeações Complementares 6.10.7 Diagramas de Fiação ou Diagramas de Encaminhamento 6.10.8 Detalhes de Conectorização 6.10.9 Diagramas de Aterramento de Sistema 6.10.10 Planos de Face de Bastidores 6.10.11 Leiautes de Cabines Técnicas 6.10.12 Detalhes de Montagem 6.11 ORGANIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE PROJETO

6.11.1 Seção 1 - Destino do Sistema 6.11.2 Seção 2 - Funções do Sistema 6.11.3 Seção 3 - Especificações de Desempenho 6.11.4 Seção 4 - Acústica 6.11.5 Seção 5 - Quantidade e Localização de Caixas Acústicas 6.11.6 Seção 6 - Dimensionamento Eletroacústico 6.11.7 Seção 7 - Infraestrutura 6.11.8 Seção 8 - Serviços 6.11.9 Seção 9 - Documentação Técnica 6.11.10 Seção 10 - Especificações Qualitativas de Equipamentos e Materiais 6.11.11 Seção 11 - Especificações Quantitativas de Equipamentos e Materiais 6.11.12 Seção 12 - Descrição Técnica do Sistema 6.11.13 Seção 13 - Desenhos e Formas de Apresentação do Projeto 6.12 SOFTWARE DISPONÍVEL

6.12.1 Apoio ao Projetista 6.12.1.1 O EASE da AFMG
6.12.1.2 O CADP 2 da JBL
6.12.1.3 O AcoustaCADD da Altec 6.12.1.4 O Modeler da Bose 6.12.1.5 O CATT-Acoustic 6.12.1.6 O Gain Calc da Lectrosonics 6.12.2 Alinhamento de Sistemas
6.12.2.1 O CLIO
6.12.3 Acústica
6.12.3.1 O Aurora 6.12.3.2 O Odeon
6.12.4 Falantes e Caixas Acústicas 6.12.4.1 O LMS (Loudspeaker Measurement System) 6.12.4.2 O LEAP (Loudspeaker Enclosure Analysis Program) 6.12.4.3 Selenium 6.12.5 Proprietários 6.12.6 Outros
6.12.6.1 O Stardraw 6.12.6.2 O Sound System Design Worksheet - SSDW
6.12.6.3 O Room Optimizer 6.12.6.4 DaVinci (de minha autoria) 6.12.6.5 Galileu (de minha autoria) 6.12.7 Placas de Som e Microfones 6.12.7.1 Microfones 6.12.7.2 Placas de Áudio 6.12.8 Deficiências e Cuidados 6. PROJETO DE SISTEMA DE SONORIZAÇÃO

6.1 REFLEXÕES SOBRE PROJETOS

6.1.1 Introdução Minha percepção pessoal é que, fora algumas exceções, o cliente típico brasileiro não vê no projeto uma necessidade primordial e imprescindível, imaginando que a escolha acertada de equipamentos, principalmente de certas marcas e alguns modelos, é o único fator determinante da qualidade final tão almejada de um sistema. Essa distorção explica

a pouca disposição generalizada para pagar aos projetistas e consultores por serviços de projeto.

Uma das razões que justifica essa deformidade da realidade é o pouco ou nenhum entendimento por parte dos clientes do que é um projeto eletroacústico e, especialmente, de quais são os reais benefícios que ele pode trazer.

Muitos desses clientes procuram lojas ou integradores para adquirir um sistema. E partem da hipótese que o projeto pode e deve ser oferecido como uma espécie de brinde. O qual, na cabeça dos clientes, não deve ser tomado como doação. Mas antes disso, como forma de agradecimento pela opção a ser feita. Agindo dessa forma uma legião de clientes procura uma sequência de lojas, de integradores, e testam comercialmente cada um desses. As chances são de que, a fim de salvar o negócio, algumas lojas e integradores acabem mesmo concordando com a ideia do tal brinde.

Ao fazer isso, alguns aceitam reduzir a margem operacional do negócio, absorvendo os custos dos projetos. Para minimizar esse efeito os projetos são simplificados o que for possível. Por vezes, acabam desfigurados. Outros tentam adicionar o valor do projeto ao montante do negócio a ser fechado sem, entretanto, mencionar o termo projeto. Imaginando com isso que é possível driblar a restrição ao projeto demonstrada pelo cliente.

Algumas lojas, consultores e integradores chegam a oferecer o “projeto” sem qualquer ônus. Só que nesses casos os tais “projetos” geralmente ficam limitados a um esquema elementar de como será o sistema, geralmente baseado num template, uma listagem simplória de materiais que geralmente cabe numa folha A4 e um mini arrazoado apresentando o trabalho. Por vezes são acrescentados adereços, como desenhos padronizados que são os mesmos para centenas de “projetos”, tabelas e outros documentos padronizados e elaborados com a finalidade de servir como insipiente “qsp”. Essas lojas, consultores e integradores aprenderam que clientes leigos realmente se deixam impressionar por esses pacotes “tecnológicos”, imaginando que estão diante de um caudal de tecnologia compactado. O que, em tese, assegura o perfeito funcionamento do futuro sistema. Mais falso que promessa de político em época de campanha. Não estamos habituados a isso e estranhamos, não é?

Essa situação banaliza os projetos eletroacústicos, ajudando a denegrir seu sentido e a intenção real dos projetos de qualidade. Além disso, essa postura que infelizmente é parte significativa do mercado profissional, acaba difundindo a ideia ilusória de que essa colcha de retalhos mal alinhavada é a quintessência dos projetos eletroacústicos.

Pior do que isso ainda. Priva os clientes dos enormes benefícios dos quais os bons projetos são portadores natos.

Quero acreditar que toda essa situação prosperou muito no Brasil porque há pouco

entendimento do que são os projetos eletroacústicos mais sérios e, especialmente, de quais são os benefícios que eles realmente podem trazer. Além disso, uma questão puramente cultural faz com os clientes associem a contratação de projetos a uma forma de desperdício que pode ser evitada.

Este capítulo é totalmente dedicado aos projetos de eletroacústica. Assim sendo, vamos começar discutindo algumas noções elementares que fundamentam os projetos. Espero, com isso, fornecer um mínimo de elementos para sua reflexão.

Não tenho nenhuma dúvida que todos os leitores têm uma noção muito aguçada do que é planejar. Afinal de contas, passamos uma boa parte de nossas vidas planejando. Como e quando trocar o carro, como comprar a casa própria, a época mais adequada para tirar férias, como serão nossas viagens de negócios e de lazer, como organizar uma festinha de aniversário, nesses tempos bicudos como fazer para poder pagar todas as contas do mês e assim por diante.

Pois bem, o projeto do sistema de som é, antes de qualquer outra coisa, uma atividade de planejamento. Vale lembrar que o termo “projeto” descende diretamente do vocábulo latino “projectum”, que tem o significado único de “antes da ação”. O que já denota o caráter de antecipar e organizar atividades que o sentido mais amplo do termo encerra.

Entretanto, os projetos não podem ser apenas antecipações e previsões. Qualquer um que comece a pensar num projeto deve ter em mente, e de forma bem clara, qual é o objetivo final a ser alcançado. Geralmente esse objetivo é multifacetado. Ou seja, não se trata apenas de definir com acuidade que sistema se deseja. Outros fatores incluem o orçamento existente ou programado, os recursos técnicos disponíveis para a operação do sistema, vários aspectos arquitetônicos e de visual envolvidos, o espaço físico que deve ser utilizado para a implantação do sistema, a maior ou menor dificuldade de manter o sistema em condições operacionais plenas, a capacidade de adaptação a futuras necessidades, e tantos outros.

Sendo uma atividade de planejamento, os projetos têm seu lado estratégico. Isso é, eles devem alinhar as etapas necessárias para se chegar aos objetivos, e ordená-las à luz de como elas estão inter-relacionadas. O que costuma refletir o planejamento cuidadoso ou sua ausência.

Parte do objetivo multifacetado a que referi anteriormente é estabelecer o padrão de qualidade do sistema. O que, na prática, se faz através do estabelecimento das especificações de desempenho do sistema. Coisas como nível de pressão sonora desejado, grau de inteligibilidade da palavra, homogeneidade de cobertura acústica, MTBF, MMTR, além de tantos outros.

Pois bem, e como assegurar que essas especificações serão atingidas na prática? É nesse ponto exato que entra um ingrediente absolutamente importante em qualquer projeto. Trata-se

do que chamo de dimensionamento eletroacústico. Que é um processo científico, definido no universo da engenharia de áudio.

Caro leitor. Chamo sua especial atenção para o fato de que apenas o dimensionamento eletroacústico pode garantir – de fato – a qualidade de qualquer sistema. Se você perguntar: então, sem projeto as coisas não rolam? Claro que rolam. Mas rolar não significa assegurar qualidade. Aliás, é precisamente por força desse argumento simplório que muitos sistemas, depois de instalados, alinhados, ajustados e outros ados exibem performance muito aquém do se esperava. Então surge a decepção. A ideia triste de que o pouco dinheiro disponível foi gasto de maneira errada. Nesse ponto ninguém quer assumir responsabilidade por nada. Ninguém sabe exatamente onde está o erro e o sistema, tecnicamente deficiente, torna-se uma espécie de órfão nato.

Claro que isso não é uma charada. Tampouco uma pegadinha. É óbvio que o erro está na falta de um bom projeto e, na grande maioria das vezes, na falta do dimensionamento eletroacústico cuidadoso.

Até que alguém pergunta: e é possível que o projeto seja apenas e tão somente o dimensionamento eletroacústico e nada mais? É claro que isso é possível. Mas essa peça, apesar de sua importância, não pode ser confundida com um projeto eletroacústico. Seu nome é dimensionamento eletroacústico. E só isso é muitas vezes melhor do que os pseudo projetos impregnados até as tampas de insipientes qsp.

Por falar nisso, creio que este é o momento certo para a introdução de algumas das várias classes de projeto.

Nos meios mais técnicos é costume classificar os projetos em algumas categorias. As principais são o estudo preliminar, o anteprojeto, o projeto básico, o projeto executivo e o projeto de instalação.

A principal diferença entre cada uma dessas categorias são os detalhes.

Vejamos então cada uma delas separadamente.

6.1.1.1 Estudo Preliminar O estudo preliminar é uma avaliação técnica introdutória, de envergadura superficial, que visa definir as necessidades básicas e estabelecer os caminhos na direção de uma ou mais soluções. Uma estimativa de investimento pode fazer parte do estudo preliminar. Usualmente um relatório aglutina todo o estudo preliminar.

Esta é uma atividade desenvolvida em um único dia. Nos piores casos, é questão de poucos dias.

6.1.1.2 Anteprojeto O anteprojeto é o próximo degrau depois do estudo preliminar.

Agora, as necessidades já são um pouco mais exploradas e delineadas. As possíveis soluções são bem mais detalhadas e individualmente analisadas. A seguir são comparadas entre si com o objetivo de permitir a opção inteligente por uma delas. A alternativa selecionada é usualmente a que oferece condições mais alinhadas com as necessidades do cliente, incluindo aspectos orçamentários, arquitetônicos e outros.

O anteprojeto pode e deve ser documentado na forma de um relatório técnico, usualmente com anexos que ilustram as principais ideias abraçadas, a começar pelo tipo e natureza de sistema adotado.

O prazo médio típico de elaboração de um anteprojeto é uma semana.

6.1.1.3 Projeto Básico Esta é uma peça prevista em lei, cuja finalidade principal é servir como parâmetro e ponto de partida para a elaboração de editais de licitação.

Assim sendo, o elemento mais importante do projeto básico são a especificação dos equipamentos e dos materiais, que não devem incluir marcas ou modelos, mas na qual cada item especificado deve ser enriquecido com todos os parâmetros que definam sua qualidade intrínseca. A citação de órgãos internacionais que aprovam o produto deve ser feita já que ajuda a estabelecer o padrão de qualidade desejado. Exigências específicas de qualidade podem se fazer presentes, assim como normas internacionais seguidas e outras, garantias oferecidas podem ser colocadas, *etc.*

Outro elemento muito importante do projeto básico é a estimativa de investimento, tudo considerado. Ou seja, fornecimento de equipamentos e materiais, tudo posto no local de instalação com transportes considerados, inclusive movimentação horizontal e vertical em campo, além de toda a mão de obra de montagem, instalação e alinhamento de sistema, gerenciamento de obra, impostos e o que mais for preciso para que o sistema possa ser entregue testado e em operação sem custos adicionais.

Muitos projetos básicos estabelecem que o proponente vencedor deve estar preparado para elaborar o correspondente projeto executivo. O qual pode ser cobrado à parte. Ou não.

Como um anteprojeto, o prazo médio usual para a elaboração de um projeto básico é uma semana.

6.1.1.4 Projeto Executivo Como o nome sugere, o projeto executivo deve conter todos os documentos que permitam a um grupo especializado implementar o sistema sem absolutamente nenhuma consulta adicional. O que significa que o sistema deve estar suficientemente detalhado.

É praxe redigir um Memorial Técnico sucinto, mostrando com muita clareza a filosofia do

sistema escolhido e o que levou a essa escolha. O memorial também deve explicar os passos seguidos durante a etapa de desenvolvimento do projeto, especialmente sobre o dimensionamento eletroacústico. Costumo dizer para meus alunos que considero importante que o memorial contenha uma relação organizada de todos os seus anexos.

Esses anexos são documentos como diagramas de identificação de partes, diagramas unifilares de bloco, diagramas de fiação, planos de face de racks e tantos outros.

A forma mais comum de entrega de um projeto executivo é, portanto, o Memorial Técnico e vários anexos, todos ilustrando ideias ou detalhando aspectos do projeto.

Um projeto executivo é desenvolvido num prazo típico que varia entre duas e dez semanas de trabalho, com direito a eventuais visitas ao cliente/obra para esclarecimentos e confirmação de que os projetos caminham na direção certa.

Gosto de definir projeto como uma atividade essencial de planejamento estratégico desenvolvida com o objetivo de racionalizar a obtenção de um determinado fim, num prazo conhecido e, principalmente, dentro de um investimento conhecido e estabelecido como teto.

Portanto, o projeto executivo deve oferecer tudo isso a um só tempo. Evidentemente, o dimensionamento eletroacústico faz parte de todo e qualquer projeto executivo. O dimensionamento pode ser muito sofisticado, por exemplo com utilização de um software de simulação, a exemplo do EASE. Mas também é possível empregar ferramentas menos potentes, como o software Galileu de minha autoria, desenvolvido quando fiz o projeto dos XV Jogos Panamericanos Rio 2007. Este foi imaginado para ser uma ferramenta para uso dos locadores que, na ocasião, não possuíam o EASE.

Antes do Galileu, eu e muitos dos meus alunos, já usávamos uma forma muito eficaz de programação simples e, totalmente capaz de assegurar um caminho sólido e rápido para se chegar a um dimensionamento eletroacústico completo e de qualidade.

Outra dessas formas simples de se chegar ao mesmo resultado é utilizar o “Gain Calc” da Lectrosonics. Há várias outras alternativas nessa mesma linha.

Evidentemente essas ferramentas menos potentes, muito mais baratas ou mesmo sem custo, podem ser usadas em outras categorias de projetos.

Na mesma linha do Galileu desenvolvi o DaVinci, voltado para o dimensionamento acústico de locais fechados. Portanto, juntos, o DaVinci e o Galileu potencializam muito e de forma muito racional os dimensionamentos eletroacústicos.

6.1.2 Porque o Projeto é Indispensável A cobertura sônica que um dado sistema de reforço de som proporciona é função da quantidade de falantes utilizados, de suas características técnicas, de sua localização, de sua orientação espacial e da geometria da área física a ser atendida, entre outras coisas.

Qualidade sônica e confiabilidade são as principais diferenças a que se pode chegar com a instalação de um sistema de sonorização bem projetado, em relação a uma instalação feita na “galega”, como em alguns casos de equipamentos alugados por quilowatts. E mesmo de uma série infindável de sistemas permanentes montados às pressas sem nenhuma engenharia e nenhum cuidado técnico.

Não gosto muito de mencionar textualmente casos, ou de dar exemplos com endereços. Mas quando o faço é para ilustrar bem aquilo que estou afirmando, e também, para que todos aqueles que ainda possam ter dúvidas, no caso de querer, possam ver com seus próprios olhos. Exemplos de equipamentos permanentes com instalações sofríveis são encontrados em profusão em nossos teatros em São Paulo, capital. Diversos deles.

Sistemas sem aterramento, outros formados por equipamentos domésticos em estado de pura sucata, e há até sistemas que dão choque elétrico. Acreditem.

Nos casos bem projetados os resultados são estabelecidos a priori. De preferência, fruto de acordo entre projetista e cliente. O projetista poderá até entender que tudo o que o cliente deseja não é possível obter, ou só é obtível com investimento acima do estabelecido. No primeiro caso, uma das melhores coisas que o projetista tem a fazer é mostrar ao cliente quais são os resultados mais próximos dos pretendidos que ainda é possível obter e, no segundo, o que é possível obter com o investimento previsto.

De qualquer modo, parte-se de um conjunto de **especificações de desempenho**. Este é o ponto chave.

Com efeito, instalações feitas sem projeto e sem critérios levam a resultados aleatórios, quaisquer. Eventualmente, até bons. Afinal não se falou em camelos passando por buracos de agulhas de coser?

Por isso, é de bom alvitre estabelecer os requisitos indispensáveis de um bom projeto, comuns a todos os casos, relacionando-os como segue:

- obter cobertura sônica por toda a área destinada a receber os benefícios do reforço, de modo que o nível de pressão sonora resulte aproximadamente uniforme, com variações dentro de tolerâncias pré determinadas ao longo de todo o recinto, de local para local da área coberta
- estabelecer um nível de pressão sonora no ouvido da pessoa mais afastada da fonte de som, condizente com o tipo de programa a ser reforçado e com as características acústicas do ambiente
- estabelecer uma relação campo direto/campo reverberante tal que $AL_{CONS}\%$ não ultrapasse 15%

- no caso de utilização de vários microfones, projetar o sistema de modo que sejam evitadas realimentações acústicas sobre os mesmos, capazes de provocar oscilações regenerativas (microfonia)
- estabelecer resposta de frequência apropriada para o tipo de programação a ser reforçada, consistente ao longo de toda a área coberta

Evidentemente, só estabelecer esses requisitos não faz do projeto um bom projeto. O mais importante é obtê-los na prática.

Vejamos então cada um desses tópicos mais detalhadamente.

6.2 REQUISITOS ESSENCIAIS

6.2.1 Cobertura Sônica Acabamos de ver que a cobertura sônica é função da quantidade de falantes utilizados, de suas características técnicas, de sua localização, de sua orientação espacial e da geometria da área física a ser sonorizada.

Sobre as características técnicas dos falantes, tenhamos em mente as figuras 4.235 e 4.236. Para efeito de cobertura, trabalharemos com esse tipo de informação, razão pela qual impõe dominá-lo.

O exemplo da figura 6.9 é eloquente. Usando as características polares verticais em combinação com distâncias e ângulos, foi possível obter nível de pressão sonora sem muitas variações no sentido do comprimento do recinto.

O assunto localização dos falantes será discutido detalhadamente no tópico 6.4.1, adiante.

Apenas para familiarização dos menos ligados ao áudio profissional, a tabela 6.1 apresenta os dados de algumas produtos EAW (Eastern Acoustic Works), de fabricação norte-americana, com suas especificações.

Entre elas estão o $\angle CH$ e o $\angle CV$.

A geometria física do recinto a ser sonorizado pode variar tanto de caso para caso, que nem vale a pena tecer maiores considerações sobre as praticamente infinitas possibilidades de combinações distintas.

tabela 6.1

CORNETA	EAW KF200NT	EAW JF26	EAW KF720
arremesso	curto	médio	longo
cobertura nominal	100° (H) × 100° (V)	60° (H) × 45° (V)	110° (H) × 12° (V)
(Q) rel. de diretiv.	5,00	16,32	36,64
(DI) índ. de diretiv.	6,99	12,13	15,64
freq. inferior	74 Hz	55 Hz	70 Hz
corte recomendado com driver 2441/2445	20 kHz	20 kHz	19 kHz
SPL máximo dB SPL	128	130	119/127 (LF/MF-HF)
dimensões LxAxP (mm)	303 × 502 × 300	354 × 566 × 387	658 × 239 × 332
peso líquido (Kg)	21,0	25,4	20

6.2.2 Nível Adequado O estabelecimento do nível de pressão sonora mais adequado para cada

caso pode se tornar algo relativamente difícil. O principal motivo é que para quem não está habituado ao exercício, não será fácil associar a intensidade do som como o percebemos ao correspondente nível de pressão sonora em dBA.

Isto é, no momento em que o projetista pergunta ao seu cliente “será que 90 L_p no ouvido da pessoa mais afastada do falante atende suas necessidades? ”, esse cliente poderá não ter a menor noção do que o projetista está perguntando.

Contudo, pode-se chegar ao valor desejado por meio de cálculos, de determinação experimental, por associação, por experiência, e por outros métodos.

Vamos dar um exemplo de determinação por cálculos. Porém, junto com ele devemos estudar um conceito extremamente importante na engenharia de áudio, que é o da Distância Acústica Equivalente (EAD).

Para um ambiente qualquer, trata-se de uma distância cujo limite é a maior distância entre duas pessoas que ainda permite uma boa comunicação direta entre elas, sem necessidade de amplificação eletrônica ou de qualquer outro recurso. Acompanhando a simplicidade do conceito, a EAD pode ser estabelecida com muita facilidade.

Basta que duas pessoas estejam no mesmo local. Uma delas começa a falar enquanto a outra se afasta lentamente e ao mesmo tempo presta atenção ao que é dito, especialmente no que se refere à qualidade da comunicação.

Quando por julgamento subjetivo a audição passar a exigir “esforços” e/ou a inteligibilidade começar a cair, dá-se um passinho de volta para restabelecer as condições de qualidade imediatamente anteriores, e então, esse é o limite para a separação entre as duas pessoas. A EAD é então estabelecida com esse valor, derivado experimentalmente.

Essa forma de determinação da EAD é muito eficaz. Entretanto, só podemos fazê-la quando o local já estiver construído e acabado.

Quando esse não for o caso, o jeito é apelar para a matemática, e calcular

$$EAD = 10^{\frac{L_p - NRA - 25,0dB}{20}} \quad (6.1)$$

onde

- EAD é obtida diretamente em metros
- L_p é o nível médio de pressão sonora gerado pela voz humana como medido ou estimado a 1,0 metro da boca de quem fala, em dBA (aproximadamente 67,0 dBA para voz com intensidade normal)
- NRA é o nível médio de ruído ambiente medido ou estimado, também em dBA, e
- 25,0 dB é a relação S/R desejada

Suponhamos que um projetista tenha que desenvolver um projeto de sistema para auditório utilizado principalmente para discursos e palestras. Ele foi ao auditório e mediu o nível de ruído ambiente (NRA), igual a 30 dBA. Embora esse valor seja realmente muito difícil de ser encontrado no dia-a-dia, presta-se bem à finalidade de nosso exercício. O projetista também fez algumas medições, e concluiu que o nível de pressão sonora a 1 metro de uma série de oradores será, em média, 67,0 L_p .

Nosso projetista quer saber até que distância alguém pode se afastar do orador, e ainda ouvi-lo e entendê-lo bem.

Como o nível de ruído ambiente é 30,0 dBA, e o projetista sabe que é preciso manter uma relação sinal/ruído de 25,0 dB, ele concluiu que a distância máxima entre ouvinte e orador que ainda permite o bom entendimento é aquela na qual o ouvinte tem em seus ouvidos um nível de pressão sonora igual a $30,0 \text{ dBA} + 25,0 \text{ dB} = 55,0 \text{ dBA}$.

Como o projetista também conhece a lei dos inversos dos quadrados, ele sabe que os 67,0 L_p a 1 metro serão $67,0 L_p - 6,0 \text{ dB} = 61,0 L_p$ a 2 metros, e $61,0 L_p - 6,0 \text{ dB} = 55,0 L_p$ a 4 metros.

Esses 4 metros correspondem à Máxima Distância Física (MPD) que o ouvinte poderá se afastar do orador, e ainda conseguir entendê-lo.

O caso do exemplo acima foi uma feliz coincidência, e o projetista aplicou direto a lei dos inversos dos quadrados para determinar a MPD.

Mas se ele tivesse chegado ao nível de pressão sonora de 70,0 L_p a 1 metro da boca do orador, não teria conseguido, a menos que calculasse $70,0 L_p - 55,0 \text{ dBA} = 15,0 \text{ dB}$. Essa seria a figura em dB correspondente à MPD. Logo

$$10^{\frac{15}{20}} = 5,6 \text{ metros}$$

Outra forma de estabelecer a MPD é recorrer ao nomograma da figura 2.6, que já converte diretamente distâncias em metros, em seus equivalentes em dB, ou vice-versa, sendo 1 metro o valor de referência (0 dB = 1m).

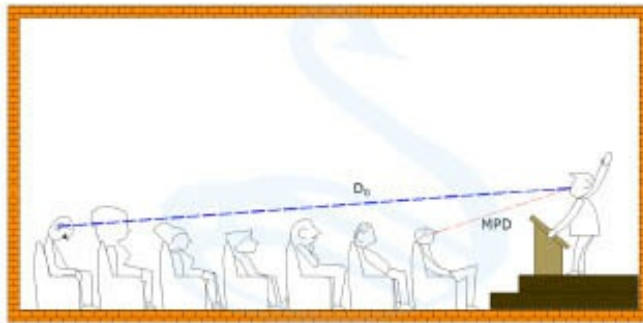


figura 6.1 distâncias D_0 e MPD

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 6.1 o orador se dirige ao público. Com o sistema de reforço desligado, o ouvinte situado na MPD ainda consegue entendê-lo. Além disso, não.

Podemos então pensar que o sistema destina-se a simular para o ouvinte em D_0 as condições aproximadas de audição do ouvinte na MPD, quando este ouve o orador com o sistema desligado.

O que nos leva a concluir que a distância acústica equivalente é a distância do orador que ainda permite a alguém contar com condições confortáveis de audição sem qualquer sistema de reforço. O nome distância acústica equivalente se deve porque, uma vez estabelecido seu valor, a ideia é projetar o sistema para reproduzir eletronicamente para toda a plateia em condições equivalentes as da audição em EAD.

Voltando ao exercício, nosso projetista já calculou o nível adequado, 55,0 dBA.

Para tanto, precisou medir o nível de ruído ambiente, e o nível de pressão sonora produzido pelo orador.

A figura 6.2 oferece uma série de informações sobre níveis de pressão sonora da voz humana, o que permite deduzir níveis correspondentes sem necessidade de medições.

Por determinação experimental, cliente e projetista vão ouvir ao vivo as programações típicas a serem reforçadas.

O projetista, munido de um medidor de nível de pressão sonora de precisão.

Juntos, poderão avaliar o possível melhor nível de pressão a ser adotado para desenvolver o projeto, valor que o projetista deverá ter registrado no medidor.

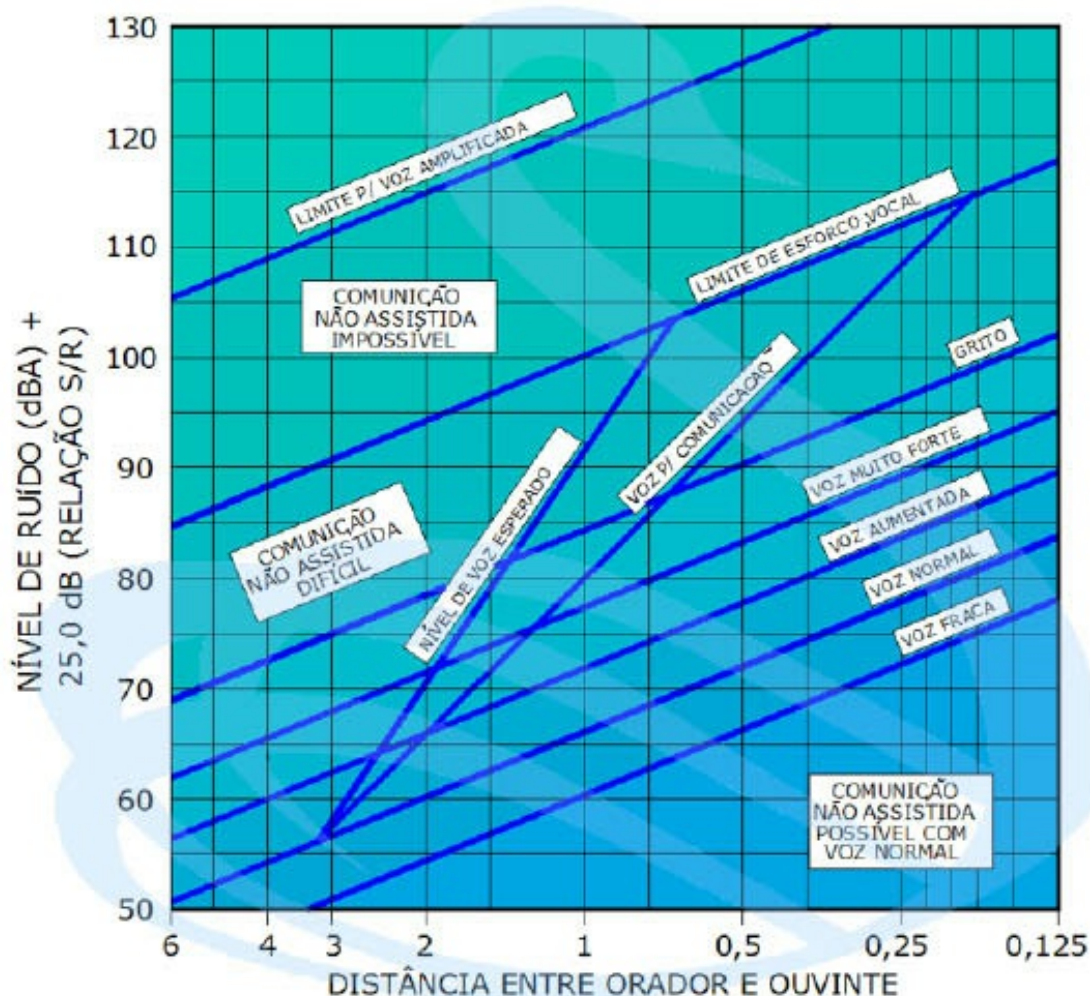


figura 6.2 nomograma para determinação da EAD

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A determinação experimental é mais fácil em recintos desprovidos de sistema de reforço, pois as variações de nível de pressão sonora em função dos locais são geralmente maiores. Entretanto, esse inconveniente transforma-se em vantagem, se no local provido do sistema de reforço se tem acesso ao controle de ganho do amplificador, o que permite variar o nível de pressão sonora à vontade.

tabela 6.2

dBA, ref. $20\mu\text{N/m}^2$	ATIVIDADE
0	Limiar de audição para jovens, entre 1 e 4 kHz
35	Suspiro suave
40	Música funcional em ambiente silencioso
60	Música de fundo (ambiente)
60	Nível de conversa
75	Nível de conversa preferido para máxima inteligibilidade
90	Concerto musical
93	Picos de contrabaixo acústico, a 2 metros
94	Picos de clarineta, a 3 metros
95	Picos de piano, posição do músico
96	Picos de trompete, a 3 metros
105	Nível de monitoração durante gravação de música pop
110	Música em volume muito alto
115	Níveis de picos durante concertos de rock

A determinação do nível de pressão sonora por associação consiste em procurar um nível

específico, associado a outro mais conhecido, ou resultante de atividade conhecida.

A tabela 6.2 é muito útil nesse sentido, pois apresenta uma série de níveis de pressão sonora correspondentes a situações musicais cotidianas familiares a todos nós.

O engenheiro de áudio experiente poderá estabelecer o nível de pressão sonora apenas sabendo o que realmente deseja o cliente.

Entretanto, minha própria opinião é que o cliente deverá ser sempre informado desse nível, e deve poder entender o que ele significa. Isto é, deverá experimentá-lo e aprová-lo antes de autorizar o início da elaboração do projeto.

Restam duas observações: quaisquer das formas utilizadas para definir o nível deverão levar em conta o nível de ruído ambiente e a relação S/R mais conveniente. Isso é válido inclusive para a definição da EAD. A outra é que a tendência natural do ser humano é estabelecer um nível mais elevado do que o efetivamente necessário. Há uma espécie de supervalorização consciente da quantidade, contrabalançada por uma subvalorização inconsciente da qualidade.

Com qualidade, a quantidade pode ser apenas a suficiente. Apenas isso.



figura 6.3 limiares de audição, de desconforto auditivo e de dor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essa é uma das razões pelas quais nos defrontamos com situações de shows ao vivo, muitas vezes até de artistas consagrados, onde o volume é ensurdecador, e a qualidade sofrível. Baixa inteligibilidade, respostas de frequências irregulares, grandes variações do nível de pressão sonora ao longo do recinto, problemas de cobertura, e até mesmo de microfonia, como praticamente todos nós tivemos oportunidade de testemunhar.

O que aconteceu, por exemplo, num Festival Brasileiro de Jazz, realizado em São Paulo. Quando a microfonia se fez presente. O músico Hermeto Paschoal, com sua versatilidade, literalmente salvou o espetáculo naquele trecho, ao integrar com muita imaginação e rara felicidade a microfonia à música.

Outro exemplo foi o show dos Menudos, no Morumbi, São Paulo, em 1.985.

O sistema de reforço provocou atraso de quase 4 horas. Quando finalmente começou, ninguém entendia nada. O AL_{CONS} % devia estar acima dos 50%.

Finalmente, é bom mencionar que alguns grupos, como os dos roqueiros, poderão atrair público ávido por níveis de pressão sonora excepcionalmente elevados para os locais onde se

apresentam.

Por esse motivo, a figura 6.3 estabelece um limiar de nível de pressão que causa desconforto auditivo, e outro que causa dor. Evidentemente, eles não devem ser superados.

tabela 6.3

NÍVEL DE RUÍDO dBA	TEMPO MÁXIMO DE EXPOSIÇÃO
inferior a 90,0	sem limites
90,0 a 92,0	6 horas
92,0 a 95,0	4 horas
95,0 a 97,0	3 horas
97,0 a 100,0	2 horas
100,0 a 102,0	1,5 horas
102,0 a 105,0	1 hora
105,0 a 110,0	30 minutos
110,0 a 115,0	15 minutos
superior a 115,0	nenhuma exposição

A tabela 6.3 foi montada a partir de dados informados pelo OSHA (Organization for Safety and Health Act), norte-americano. Lá estão indicados diversos níveis de ruído, e os tempos máximos a que as pessoas podem estar expostas para preservar suas faculdades auditivas.

Imagine um sistema de reforço de som produzindo potência de 17,0 dBW (50 watts), quando alimentado por um único microfone.

Se ao lado desse primeiro microfone, abrirmos um segundo, sendo semelhantes as características de ambos, como o segundo recebe a mesma amostra de campo de som que o primeiro, o nível de sinal gerado pelo segundo é igual ao do primeiro. Logo, juntos eles produzirão + 3,0 dB em relação à situação anterior, quando o primeiro estava sozinho. E o sistema produzirá o dobro da potência anterior, isto é, 20,0 dBW (100 watts).

Para que, operando com os dois microfones, o sistema não seja mais susceptível à microfonia do que com um só, é preciso que seu ganho seja reduzido em 3,0 dB, o que nos trará de volta aos 17,0 dBW.

E cada vez que dobrarmos a quantidade de microfones abertos (NOM), é preciso reduzir 3,0 dB no ganho do sistema.

Para se determinar a redução a ser imposta ao ganho para uma quantidade qualquer de microfones, emprega-se a expressão:

$$\text{NOM em dB} = 10 \log \text{NOM} \quad (6.2)$$

Essa conversão da quantidade de microfones abertos para decibels é perfeitamente possível, assim como é possível converter distâncias em decibels.

6.2.3 Inteligibilidade Discutiremos a inteligibilidade com detalhes no tópico 6.4.2, a seguir. Inclusive com enfoque de dimensionamento. Agora estamos apenas interessados em falar sobre ela como requisito essencial de qualquer projeto.

Dizer que a inteligibilidade é requisito absolutamente essencial num sistema de reforço de voz é fazer o exercício do óbvio. Mas vimos também que quase todos os sistemas de sonorização são uma combinação de diferentes tipos de sistemas. E o reforço de voz é parte integrante de quase qualquer sistema. Assim, essa essencialidade absoluta continua sendo aplicável a esses sistemas combinados.

Se alguém ainda tiver dúvida sobre a necessidade de boa inteligibilidade para um sistema de reforço de música ao vivo, sem quaisquer outras funções, é bom lembrarmos que são raríssimas as melodias desprovidas de letras.

Que se reforçadas através de um sistema pobre em inteligibilidade, só serão acompanhadas mais facilmente por quem as conhecer. Mesmo assim, o cansaço auditivo chegará mais cedo para a plateia.

A razão é simples. As pessoas se esforçarão mais para entender o que é falado.

Portanto, uma das boas práticas da engenharia de áudio é dimensionar sistemas para elevada inteligibilidade, independentemente de suas aplicações.

6.2.4 Resposta de Frequência Considera-se que o espectro de frequências audíveis pelo ser humano é 20 Hz a 20 kHz.

Contudo, só pessoas jovens e com audição perfeita podem chegar a esses limites.

De uma maneira mais abrangente, incluindo indivíduos dos dois sexos e de todas as faixas etárias, pode-se dizer que o limite superior para audição de tons puros fica entre 12 e 18 kHz. O ponto exato desse limite depende do organismo de cada um de nós. Mas tende a se reduzir com a idade e com a maior e mais constante exposição de nossos ouvidos a ruídos em geral.

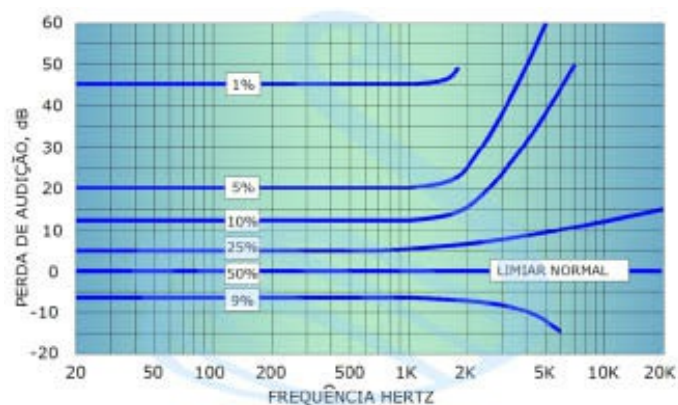


figura 6.4 percentagem da população norte-americana e respectivos graus de perda de audição cortesia Acoustical Society of America e engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.4 relaciona a percentagem da população norte-americana que tem no mínimo perda parcial de audição como indicam os contornos do gráfico.

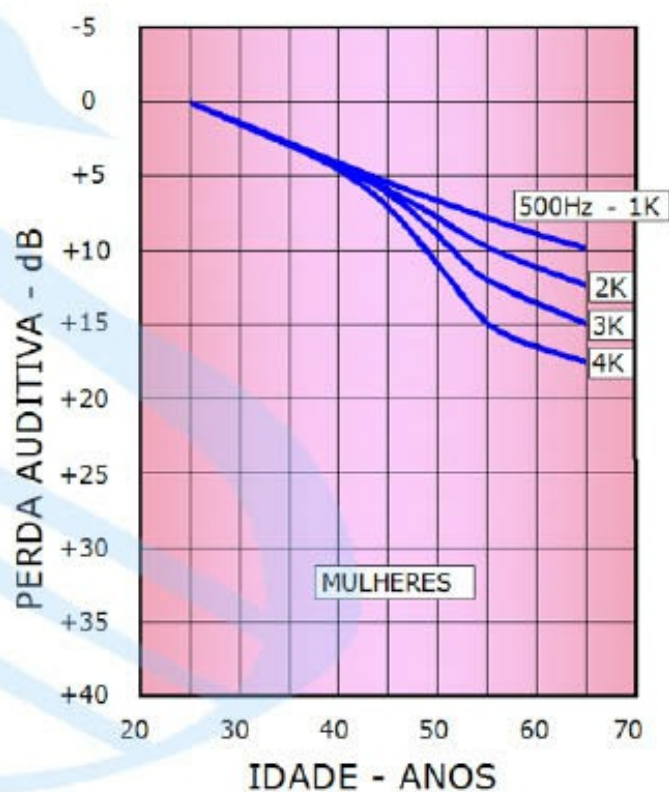
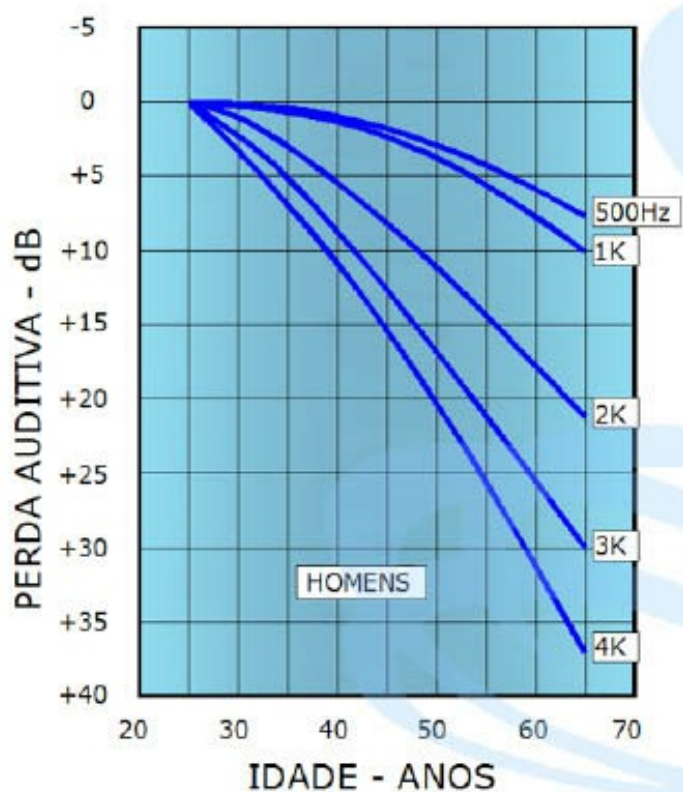


figura 6.5 presbiceusidade masculina (A), e feminina (B) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 6.5.A e 6.5.B resumem graficamente as perdas de audição típicas com a idade, para homens e mulheres, respectivamente. Essas curvas estão baseadas em pesquisas desenvolvidas pelos laboratórios do Bell System, nas cidades de Nova Iorque e São Francisco.

Esse tipo de perda auditiva, denominado **presbiceusidade**, tem origem no endurecimento dos músculos do ouvido interno, além de uma série de problemas geriátricos específicos do ouvido interno e cérebro. Naturalmente, não faz sentido despender esforços em projetos para obtenção de amplas respostas de frequência que jamais serão aplicadas. Isso seria esbanjar dinheiro do cliente.

Por isso, ao determinar a resposta de frequência para um sistema qualquer, o engenheiro de áudio deve levar em conta diversos fatores.

A começar com o programa a ser reforçado.

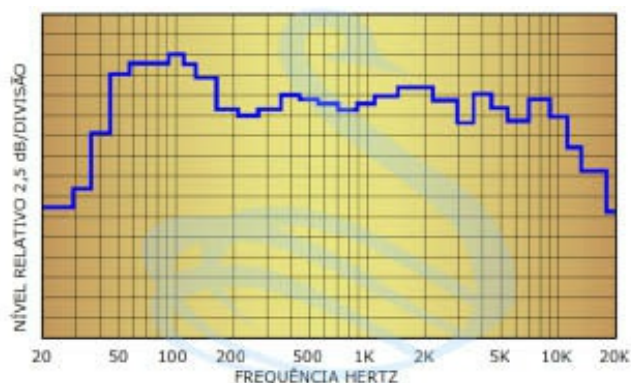


figura 6.6 resposta de frequência típica para espetáculos de rock acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isso porque as exigências de resposta de frequência dependem do material a ser reforçado, razão pela qual devem ser estabelecidas em função dele. Os pesquisadores informam que nossos cérebros processam de modo diferente voz e música, o que veremos pouco mais detalhadamente a seguir.

Podemos dizer que as respostas de frequência menos rigorosas são as dos sistemas destinados a reforços de voz para pequenos ambientes, com um máximo 200 lugares.

Nesses casos, as respostas de frequência que mais agradam são as bastantes planas de 50 Hz a 5 kHz, apresentando, então, atenuação típica de cerca de 6,0 dB/oitava acima de 5 kHz.

No outro extremo está a reprodução de música séria em grandes ambientes fechados, ou locais abertos, para os quais as exigências de resposta frequência podem chegar a atingir tipicamente 40 Hz a 20 kHz. A figura 6.6 ilustra um destes casos. Algumas vezes se deseja que a resposta de frequência se estenda de 20 Hz a 20 kHz, ou mesmo com limites superiores aos 20 kHz.

Atenção especial deve ser dada à reprodução das frequências muito baixas, principalmente entre 20 e 50 Hz. Inicialmente, não é fácil encontrarmos falantes que reproduzam com qualidade frequências tão baixas.

Os melhores resultados nesse segmento do espectro são obtidos com subwoofers, desde que muito bem projetados. Lidando com woofers e subwoofers, o projetista não pode perder de vista a questão do acoplamento mútuo. Fenômeno que ocorre com a combinação de dois ou mais falantes de baixas frequências. Este assunto específico é discutido mais a fundo no capítulo seguinte.

Enfim, a resposta de frequência de qualquer sistema de sonorização profissional dever ser detida e criteriosamente estudada para que seja estabelecida com propriedade.

Muitos engenheiros de áudio entendem que a linearidade e o balanço da resposta de frequência são mais importantes do que sua extensão. Adiante falaremos sobre a linearidade. O balanço refere-se aos dois limites que determinam a extensão da resposta. Considera-se que a resposta de frequência está bem balanceada quando o produto de seus dois limites está entre 400.000 e 500.000.

Assim, quando se estabelece o limite superior de 15 kHz, não devemos fixar o limite inferior em 20 Hz, pois $20 \times 15.000 = 300.000$. Melhor opção seria 30 Hz, já que $30 \times 15.000 = 450.000$.

A figura 6.7 oferece sólidos subsídios para o projetista em sua tarefa de avaliar a resposta de frequência necessária, já que lá estão os espectros de frequência mínimos desejáveis para vários tipos de programações, instrumentos musicais, vozes, *etc.*

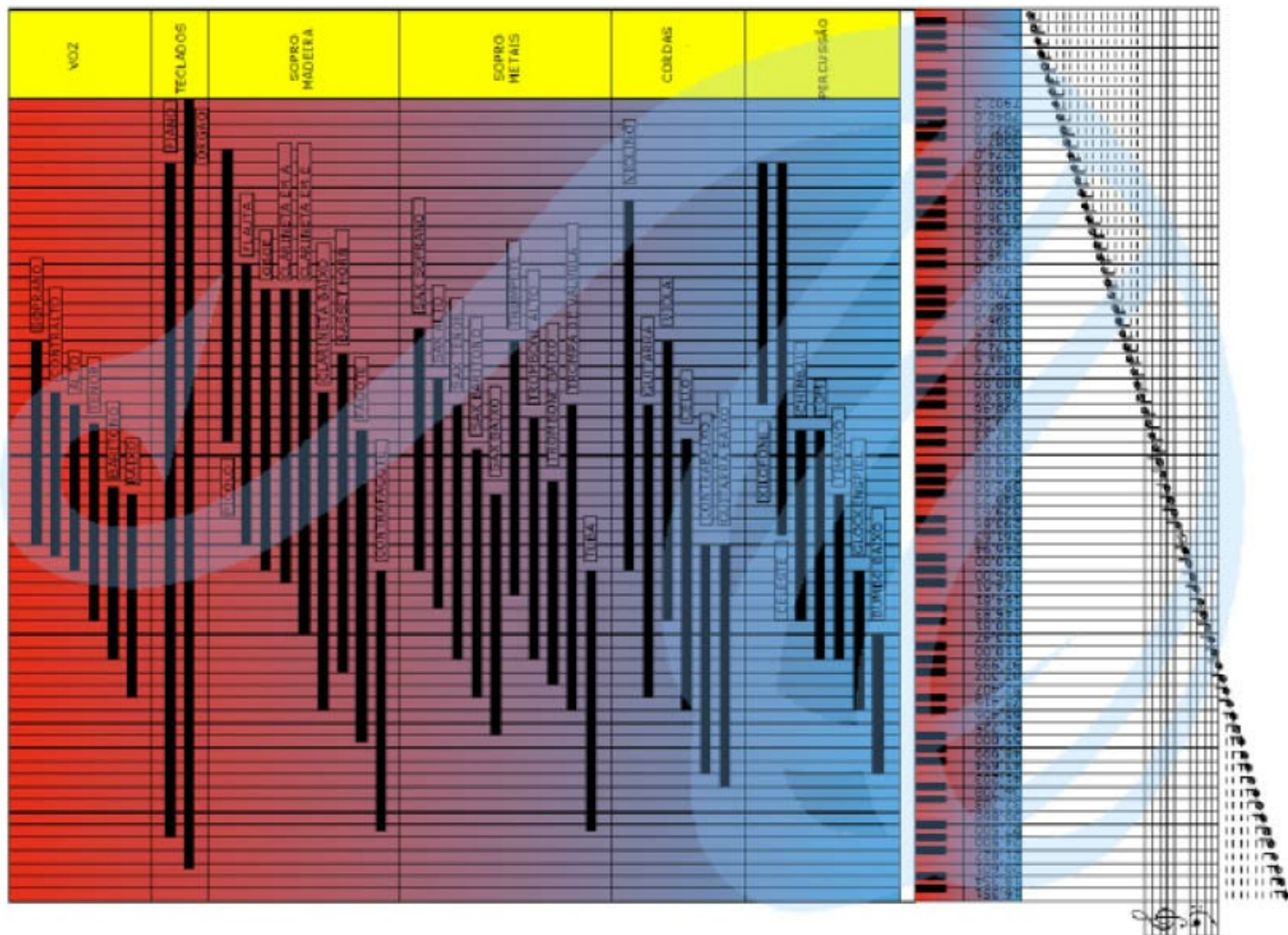


figura 6.7 respostas de frequência naturais de instrumentos musicais e vozes humanas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 6.53 a 6.56 adiante também são de grande valia para o engenheiro de áudio durante os projetos de sistemas de reforço de voz. Mais especificamente, quando da análise da resposta de frequência desejável.

6.3 PREPARAÇÃO

Como quase qualquer outra coisa na vida, os projetos de sistemas de sonorização também serão melhores e mais consistentes se forem devidamente preparados.

Nesse sentido, preparar significa estabelecer de maneira rigorosamente precisa e completa o que deve ser feito, e em que ordem.

A primeira tarefa é conversar bastante com o cliente, algo absolutamente indispensável se queremos entender todas as suas necessidades, até os limites dos limites de suas extensões. Se possível, ultrapassá-los.

Três aspectos fundamentais deverão ser avaliados em profundidade nessa conversa.

Que resultados o cliente concretamente espera do sistema, e quais são os padrões de qualidade pretendidos. De que maneira o sistema vai ser operado e mantido, e por fim, qual é aproximadamente o investimento disponível.

Nem sempre essas respostas serão dadas direta e objetivamente.

Mas por uma questão profissional, o projetista é obrigado a obter respostas. Seu trabalho

depende disso. Ou então ele pagará o preço de projetar algo que talvez não tenha qualquer utilidade prática.

Quando um projetista pergunta a um cliente “que resultados os senhores esperam do sistema? ”, e como resposta obtém “os melhores possíveis”, evidentemente a pergunta não foi respondida.

Uma resposta melhor seria, “os melhores possíveis para meu orçamento, que é de tantos reais”.

Uma vez que todas essas questões básicas estejam bem claras para o projetista, é possível iniciar a primeira fase do projeto, que é chegar a uma concepção preliminar, mas global do sistema. Que deve estar baseada em critérios e técnicas de engenharia de áudio.

A estas alturas, e tendo uma ideia do que será o sistema, o projetista já terá condições de relacionar o conjunto de tarefas que, como um todo, depois de desenvolvidas resultarão no projeto pronto.

Além disso, é preciso organizar todas as tarefas numa ordem lógica, para que elas sejam realizadas com o máximo de eficiência. A intenção aqui é realizar antes as tarefas que não dependem de outras, e apenas então as demais, que de algum modo estão relacionadas com as anteriores.

De um modo geral, todas as tarefas podem ser agrupadas nos seguintes títulos: dimensionamentos, arquitetura e escolha dos equipamentos, infraestrutura, documentação e apresentação.

Entre os dimensionamentos estão o acústico, sempre que necessário, e o eletroacústico. Quanto à parte acústica, todos os subsídios básicos para dimensionamento estão no capítulo 3, anterior. Com relação ao dimensionamento eletroacústico, o assunto é detalhadamente discutido no item 6.4, adiante.

A arquitetura de sistema, que por ora vamos entender como sendo a definição de que tipos de equipamentos serão utilizados, e em que sequência estarão interligados, é discutida no item 6.5, adiante.

A arquitetura de sistema deve ser estabelecida sempre da maneira mais simples possível. E o mais importante, balizada, de um lado, pelas necessidades do cliente e funções que se quer dar ao sistema, e de outro, pelo orçamento disponível.

A escolha dos equipamentos, discutida no item 6.6, é outra atividade com certo grau de dificuldade.

É algo que geralmente oscila entre dois limites. Um, novamente imposto pelo orçamento disponível, e outro, que são as características técnicas desejadas como mínimas. Uma vez que as interligações dos aparelhos oferecem um grau de dificuldade excepcional, o assunto é

objeto de capítulo à parte, o capítulo 8.

O projetista deve investigar bastante sobre a infraestrutura. Particularmente quando o projeto for de um sistema permanente. Quando falo em infraestrutura estou me referindo principalmente à rede de eletrodutos e ao suprimento de energia.

De nada adianta já haver disponível uma rede de eletrodutos que não comporta os cabos do sistema, ou cujo encaminhamento fica muito aquém do que é tecnicamente recomendado, ou ainda, quando a rede de eletrodutos não é técnica, como as construídas com tubos de PVC.

Diante de quaisquer desses casos, a única coisa a fazer é projetar também a infraestrutura. As bitolas dos eletrodutos não poderão ser estimadas, mas deverão ser calculadas. Cada eletroduto deve comportar todos os cabos a ele destinados, de preferência com ocupação máxima de 40% em termos de área de seção transversal.

O assunto infraestrutura é discutido superficialmente no item 6.8, adiante, e depois, com detalhes nos capítulos 13 e 14. No capítulo 13 a ênfase é para o suprimento de energia, e no 14, para as redes de eletrodutos.

A produção da documentação técnica necessária é algo que usualmente requer tarefas múltiplas. De fato, uma coisa é ter soluções na cabeça, outra, poder transmiti-las para terceiros através de documentos.

Essa coleção deve incluir toda a documentação do sistema, da instalação, da infraestrutura, quando for o caso, além dos desenhos de localização e de orientação de todos os falantes, bem como dados de testes, de alinhamento, de manutenção, e assim por diante. O assunto é objeto do item 6.9, adiante.

O documento maior que reúne todos esses elementos, detalhando-os na medida do necessário, é exatamente o projeto.

Assim, projeto executivo de eletroacústica é, por definição, a peça capaz de possibilitar o entendimento completo do sistema eletroacústico a que se refere, e permitir sua implantação integral, de modo que as características de desempenho preestabelecidas venham a ser atingidas.

O projeto pode ser considerado tão melhor quanto mais reduzido for o investimento global feito no sistema, de modo consistente com a obtenção dos resultados desejados e, ainda, mantido o padrão de qualidade inicialmente determinado.

Os melhores projetos incluem informações completas sobre treinamento, operação, manutenção, dados de ajustes e de alinhamento, e documentação técnica de cada componente do sistema.

6.4 O DIMENSIONAMENTO ELETROACÚSTICO

6.4.1 Localização dos Falantes Sem qualquer sombra de dúvida, a localização dos falantes para sistemas destinados a locais abertos ou fechados, incluindo desenhos de localização e de orientação (azimutal, zenital e tilt) dos falantes, é fator determinante para o sucesso ou fracasso de qualquer tipo de sonorização.

Um dos erros mais frequentes encontrados na prática é exatamente a falta de inspeção mais minuciosa das reais condições físicas do ambiente, e em particular, das efetivas necessidades de cobertura angular. Às vezes, há até uma certa negligência durante a análise das diversas possibilidades de localização dos falantes.

Recomenda-se, por isso mesmo, que estas localizações sejam analisadas com o máximo cuidado. Para que a cobertura sobre a área a ser atendida resulte adequada, esta fase requer do engenheiro de áudio bastante paciência, além de conhecimentos específicos. Técnicas de avaliação também estão à sua disposição. Inclusive as providas por software, como discutido no item 6.11, adiante.

6.4.1.1 Cluster Cluster é o nome dado a um conjunto de falantes, que podem ou não ser do mesmo tipo. A principal característica de um cluster é que seus componentes ficam todos muito próximos uns dos outros.

A tendência do iniciante em áudio é menosprezar o potencial dos clusters. Para que ele fique bastante claro, o capítulo 7 é totalmente dedicado ao assunto.

6.4.1.2 Fonte Única e Cluster Central Fonte única é o nome dado ao cluster que, sozinho, projeta som para toda a área a ser sonorizada. A fonte única localizada em posição geométrica central, ou ao longo do eixo longitudinal do espaço, ou mesmo acima do palco neste mesmo eixo, também é chamada de cluster central.

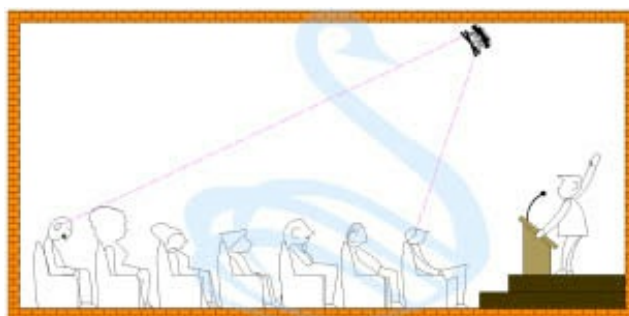


figura 6.8 ilustração de fonte única (ou sistema fly) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.8 ilustra o típico caso de utilização de fonte única.

A diferença entre a distância do cluster para os ouvintes que estão mais próximos dele, e a distância do cluster para os ouvintes que estão mais afastados dele, é tão menor quanto mais elevada é a posição em que o cluster é instalado.

Isso simplifica bastante o trabalho do engenheiro de áudio, particularmente em sua tarefa de desenhar o cluster para cobertura homogênea por toda área de audição.

Quando escrevi o texto original deste livro, os termos **CLUSTER** e **FLY PA**, ou simplesmente **FLY**, já eram muito empregados no exterior. Mas ainda eram um tanto desconhecidos por aqui, razão pela qual optei por não empregá-los. Agora as coisas são diferentes. Inclusive, muitas pessoas que liam o livro me confessavam que estranhavam muito ver os falantes localizados em posições elevadas (isso ainda acontece com frequência), e que teriam alguma dificuldade de vender a ideia para seus clientes.

Os profissionais que conheço, que insistiram e tiveram capacidade de convencimento, foram todos bem sucedidos. Até certo ponto, é possível controlar as relações das distâncias entre os pontos extremos da audiência e o cluster, pela variação de sua altura, e também, por sua fixação em posição mais atrás ou mais à frente. Vamos a um exemplo: A figura 6.9 esquematiza um cluster dando cobertura a toda uma plateia. O ouvinte situado no ponto A está exatamente no eixo principal do cluster. Os ouvintes nos pontos B e C estão no plano vertical que contém o eixo principal do cluster, o primeiro a alguns graus fora do eixo, e o segundo ainda mais um pouco fora do eixo .

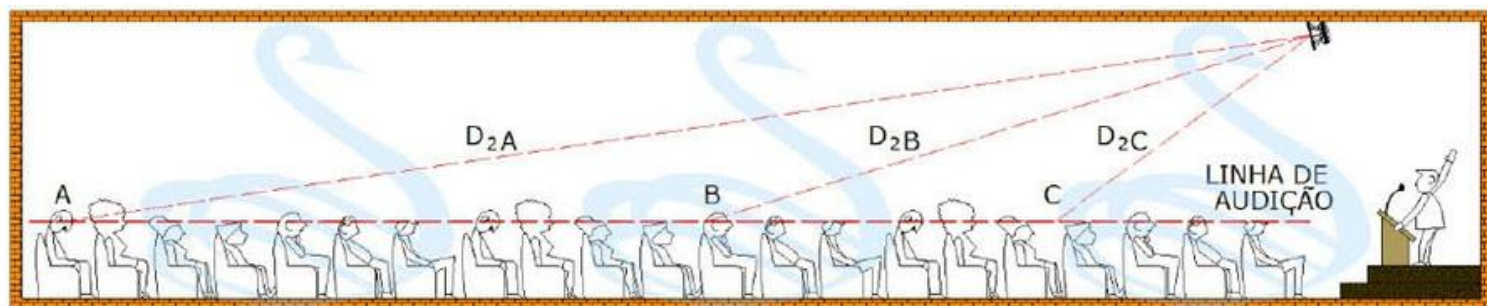


figura 6.9 cluster central cobrindo toda uma plateia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como a sensibilidade axial do cluster é usualmente superior à sensibilidade relativa, há irradiação de mais energia na direção do ponto A, um pouco menos na direção de B, e menos ainda na de C.

Chamemos de D_2A , D_2B e D_2C as distâncias entre o cluster e os pontos A, B e C, respectivamente. D_2A é maior do que D_2B , e esta maior do que D_2C .

Agora já sabemos que a distâncias maiores correspondem atenuações mais elevadas. Tanto em locais fechados quanto nos abertos.

Então, a atenuação correspondente a D_2A é maior do que a correspondente a D_2B e esta maior do que a correspondente a D_2C .

Parece lógico que o engenheiro de áudio procure a altura e o afastamento do cluster de sorte que os níveis de pressão sonora nos pontos A, B e C sejam tão próximos entre si quanto possível, ou idealmente, iguais.

De fato, num extremo (ponto A) temos maior quantidade de energia radiada, mas associada à grande atenuação. No outro extremo (ponto C), a quantidade de energia radiada é mínima, mas a atenuação também o é. E entre esses dois extremos ficam combinações de quantidades medianas de energia radiada com atenuações também intermediárias.

Há dois enfoques diferentes que podemos dar para iniciar os cálculos.

Num deles, o cluster já existe, e o projetista deve escolher a combinação mais adequada de altura com afastamento. No outro, a altura e o afastamento são determinados a priori, e o cluster escolhido a partir de falantes disponíveis no mercado, ou desenhado para atender nossas necessidades.

Voltarei a isso adiante.

De qualquer forma, é preciso trabalhar com os diagramas polares das caixas acústicas, cornetas e falantes.

Suponhamos que o recinto da figura 6.9 seja o nosso ginásio exemplo, já utilizado no capítulo 5.

A relação de diretividade do falante era $Q = 8$, a superfície total $S = 4.000 \text{ m}^2$, e o coeficiente médio de absorção $\alpha = 0,24$.

Imaginemos também que D_2A , D_2B e D_2C sejam 50, 25 e 12,5 metros, respectivamente.

Então podemos calcular as atenuações:

$$\text{atenD}_2A = -10 \log \left[\frac{8}{4\pi(50)^2} + \frac{4}{4.000 \times 0,24} \right] = +23,5 \text{ dB}$$

$$\text{atenD}_2B = -10 \log \left[\frac{8}{4\pi(25)^2} + \frac{4}{4.000 \times 0,24} \right] = +22,9 \text{ dB}$$

$$\text{atenD}_2C = -10 \log \left[\frac{8}{4\pi(12,5)^2} + \frac{4}{4.000 \times 0,24} \right] = +20,8 \text{ dB}$$

Nossas medições revelaram que os pontos B e C estão 13 e 47 graus fora do eixo principal, respectivamente.

Então, tudo o que precisamos é de um falante com diagrama polar vertical, indicando - 0,6 dB a 13 graus fora do eixo, e -2,7 dB a 47 graus fora do eixo. Como mostra a figura 6.10.

Vamos conferir os cálculos, supondo para tanto que o falante produza 120 L_P a 1 metro de seu centro acústico, no eixo principal.

O nível de pressão sonora no ponto A será:

$$120 L_P - 23,5 \text{ dB} = 96,5 L_P$$

Para o ponto B calcula-se:

$$120 L_P - 0,6 \text{ dB (13 graus fora do eixo)} - 22,9 \text{ dB (atenuação)} = 96,5 L_P$$

E para o ponto C:

Vê-se, portanto, que é possível obter cobertura homogênea ao longo de uma fileira longitudinal da plateia. Quando isso ocorre, é geralmente possível obter o mesmo ao longo de todas as fileiras longitudinais. Mas também é preciso fazer a análise das fileiras entre si, para o que se conta com os diagramas polares horizontais dos falantes.

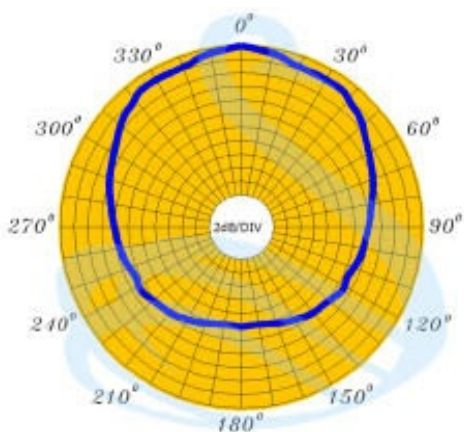


figura 6.10 diagrama polar vertical do falante da figura 6.9

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando os diagramas polares não são publicados pelo fabricantes, devem ser levantados. É inútil adotar a posição cômoda e simplista de que caixas acústicas muito parecidas, especialmente as que apresentam $\angle CH$ e $\angle CV$ idênticos, tenham os mesmos diagramas polares.

Isso é mais falso do que nota de três. E o mesmo é aplicável a quaisquer falantes e cornetas.

Devemos entender que, independentemente de nossos esforços, sempre haverá variações na cobertura. Considera-se uma boa cobertura aquela que apresenta variações máximas de $\pm 2,0$ dB de lado a lado, e $\pm 2,0$ dB da frente ao fundo. Ou seja, uma variação total máxima de 8 dB, considerada a banda de frequências de 250 Hz a 5 kHz.

Em 1.977 Ed Seeley apresentou um trabalho pioneiro na Audio Engineering Society, com ideias precisas sobre como trabalhar com desenhos de audiências e plateias, e desenhos de coberturas angulares de falantes, com mesmas escalas, de modo que se pudesse maximizar as coberturas acústicas.

A ideia central de Seeley era que a plateia pudesse ser “enxergada” a partir da localização do falante.

Tom McCarthy da Northstar Sound, deu continuidade às ideias de Seeley, escrevendo um programa completo para ser usado numa calculadora/computador de mesa HP 9820. Em seu trabalho, McCarthy estimou as coberturas angulares dos falantes aos quais estava habituado.

Imaginando que pudéssemos andar sobre a superfície de uma esfera com um medidor de nível de pressão sonora, no centro da qual estivesse um micro alto-falante, poderíamos assinalar vários pontos onde o nível de pressão sonora fosse 3,0 dB abaixo daquele medido no eixo principal. Também poderíamos assinalar os pontos de - 6,0 dB e de - 9,0 dB.

Se depois uníssemos os pontos - 3,0 dB, mostrando seu contorno, fazendo o mesmo com os pontos - 6,0 dB e - 9,0 dB, teríamos três contornos concêntricos, representando o padrão de cobertura angular do falante. Como todos os pontos de um mesmo contorno têm em comum a mesma pressão sonora, os contornos são chamados de isobáricos.

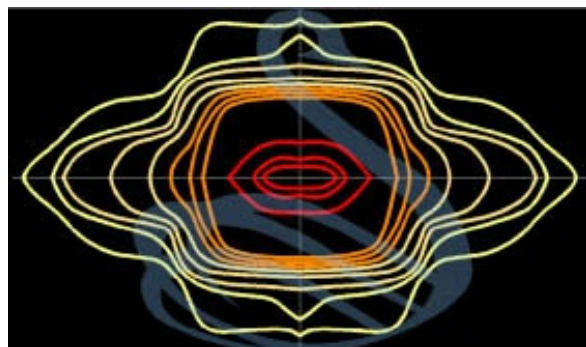


figura 6.11 cobertura isobárica de falantes, como proposto por Tom McCarthy em 1.978
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As estimativas em sua forma isobárica são apresentadas como
mostra a figura 6.11.

A Bose Corporation foi a primeira empresa a publicar as coberturas isobáricas de seus falantes, como que acreditando no poder do mapeamento arquitetônico.

Farrel Becker e Ted Uzzle também trabalharam bastante para que a comunidade do áudio contasse com especificações de coberturas de falantes úteis para mapeamento arquitetônico.

Na sequência, John Prohs, da Califórnia, desenvolveu a técnica “Cluster Computer”.

O processo original era baseado numa esfera plástica transparente, na qual estavam inscritos meridianos e paralelos, como num globo terrestre. Em sua forma angular, a plateia era mapeada na superfície externa da esfera. Desse modo, bastava olhar para os meridianos e paralelos para saber qual a cobertura angular ($\angle CH$ e $\angle CV$) necessária.

O software que acompanhava o “Cluster Computer” permitia desenvolver o mapeamento por simples medições físicas do recinto em estudo. De fato, se fossem escolhidos pontos ao longo do perímetro da plateia, era possível mapear facilmente toda a audiência sobre a superfície da esfera, em sua forma angular.

O “Cluster Computer” original era fornecido com uma grande coleção de plásticos transparentes, cuja forma era dada para que pudessem ser superpostos à esfera. E cada um desses plásticos continha mapeada a cobertura angular de um certo falante. Diversos fabricantes norte-americanos forneceram dados de suas caixas acústicas e falantes, de modo que havia grande diversidade de plásticos, cada qual correspondente a uma particular caixa acústica ou falante.

Enfim, uma vez mapeado a área de cobertura do recinto na esfera, os dados da caixa já mapeados acabavam sobrepostos ao desenho da plateia na esfera.

Como os mapeamentos do recinto e da cobertura da caixa acústica tinham forma angular, movendo o plástico sobre a esfera, era possível estudar rápida, precisa e cuidadosamente a

orientação mais adequada para a cobertura necessária, bem como fazer a análise de cada falante ou grupo deles, além da correspondente seleção.

A técnica “Array Perspective”, criada pela Altec Lansing, era a versão “Cluster Computer” no plano do papel. Desde que foi imaginada, a técnica de mapeamento arquitetônico caminhou mais e mais no sentido da automação, e assim, evoluindo no sentido de que, um dia, todas essas análises viessem a ser feitas por computador.

Todo o trabalho desenvolvido pelos profissionais mencionados, e os de muitos outros que contribuíram com suas ideias e esforços, além de inúmeros fabricantes, constituiu a base firme para a criação de programas avançados de computador, tal como os conhecemos hoje.

De fato, atualmente há um verdadeiro arsenal de programas desenvolvidos para uso com computadores PC IBM compatível, e Mac, em sua maioria mencionados no item 6.11, adiante.

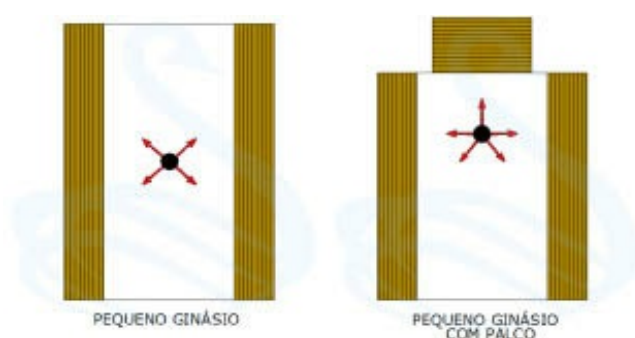


figura 6.12 localizações possíveis de fonte única em ginásio sem palco (esquerda), e com palco (direita) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Qualquer pessoa com audição normal pode determinar com excepcional acuidade a direção de uma fonte de som localizada no plano horizontal que passa por seus ouvidos. Essa habilidade do mecanismo humano de audição vai se reduzindo à medida em que nos afastamos do plano horizontal.

A localização da fonte única em posição mais ou menos central no recinto, elevada, e aproximadamente sobre o microfone, extrai o máximo de vantagens dessa característica psicofísica.

De fato, os ouvintes têm a impressão dos sons terem origem no próprio palco, e não nos falantes, o que confere aos resultados obtidos com fonte única qualidade julgada sempre bastante natural.

A figura 6.12 esquematiza duas aplicações reais de fonte única.



figura 6.13 Fonte única (A) ambiente fechado, e (B) ambiente aberto acervo do engº Luiz Fernando O.

Cysne As figuras 6.13.A e 6.13.B mostram as fotos dos dois casos. O primeiro é a Igreja São José do Jardim Europa, em São Paulo, capital. Portanto, um recinto fechado. O segundo caso é o Estádio Monumental em Lima, Peru, um local aberto. Ambos projetados e instalados por esse autor.

Os clusters devem ficar sempre posicionados de maneira que seus ângulos de cobertura “cubram” toda a plateia ou área a ser atendida pelo sistema. Mas não mais do que isso.

A ideia principal é não aumentar desnecessariamente o campo reverberante em relação ao campo direto. Por motivos óbvios, não deve haver obstáculos entre os clusters e as áreas cobertas.

Se é preciso ampliar a cobertura horizontal, podemos combinar falantes convenientemente.

Podemos posicionar os falantes de modo tal que seus eixos principais formem ângulo igual aos ângulos de cobertura horizontal dos falantes, como mostra a figura 6.14. Então as áreas de cobertura se “encostam”.

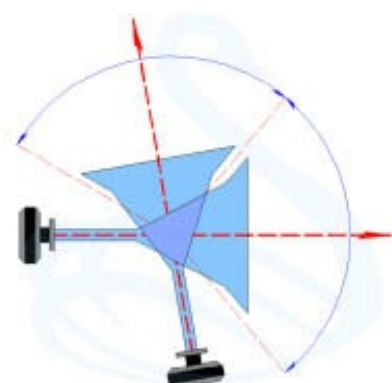


figura 6.14 maneira de aumentar a cobertura horizontal com projetores de som acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No ponto de encontro dos falantes, cada um deles contribui com - 6,0 dB em relação ao nível no seu eixo principal. Logo, os dois falantes combinados estarão produzindo campo acústico de aproximadamente - 3,0 dB em relação ao que cada um produz no seu próprio eixo principal.

Dispondo dos diagramas polares horizontais dos falantes, podemos prever os níveis em quaisquer direções em relação aos centros acústicos dos mesmos.

Basta utilizar a expressão que vimos no capítulo 2 para calcular a soma de dois ou mais níveis de pressão sonora combinados.

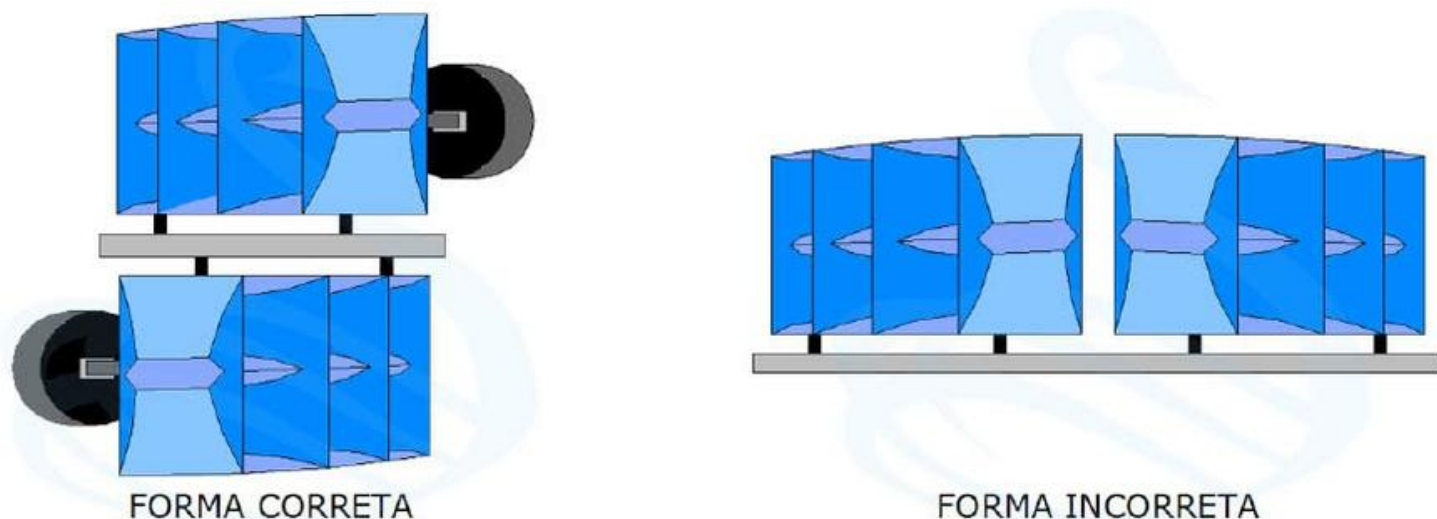


figura 6.15 modos incorreto (esquerda) e correto (direita) de montar os projetores de som em forma de hélice acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Podemos aumentar indefinidamente a formação de

falantes, que a mecânica de cálculo ainda é a mesma.

Para coberturas horizontais extraordinariamente elevadas, é possível montar os falantes em forma de hélice. Entretanto, não deve haver overlap das áreas cobertas e os falantes devem apenas se encostar. Como mostra a figura 6.15. Aí vemos as maneiras correta e incorreta de montar fisicamente caixas acústicas com angulação horizontal elaborada para ampliar a cobertura.

A figura 6.16 mostra a montagem de falantes em formação helicoidal, o que ocorreu no Estádio Azteca, México, na Copa do Mundo de 1970.



figura 6.16 Estádio Azteca, Copa do Mundo de 1970, falantes arranjados em forma de hélice, elevados exatamente acima do centro geométrico do campo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As primeiras lentes acústicas desenhadas eram dispositivos confeccionados em metal ou plástico, com formas semelhantes às ilustradas na figura 6.17. Como pode ser visto, elas eram fixadas na parte frontal das cornetas e tweeters e de falantes de médios e agudos em geral.

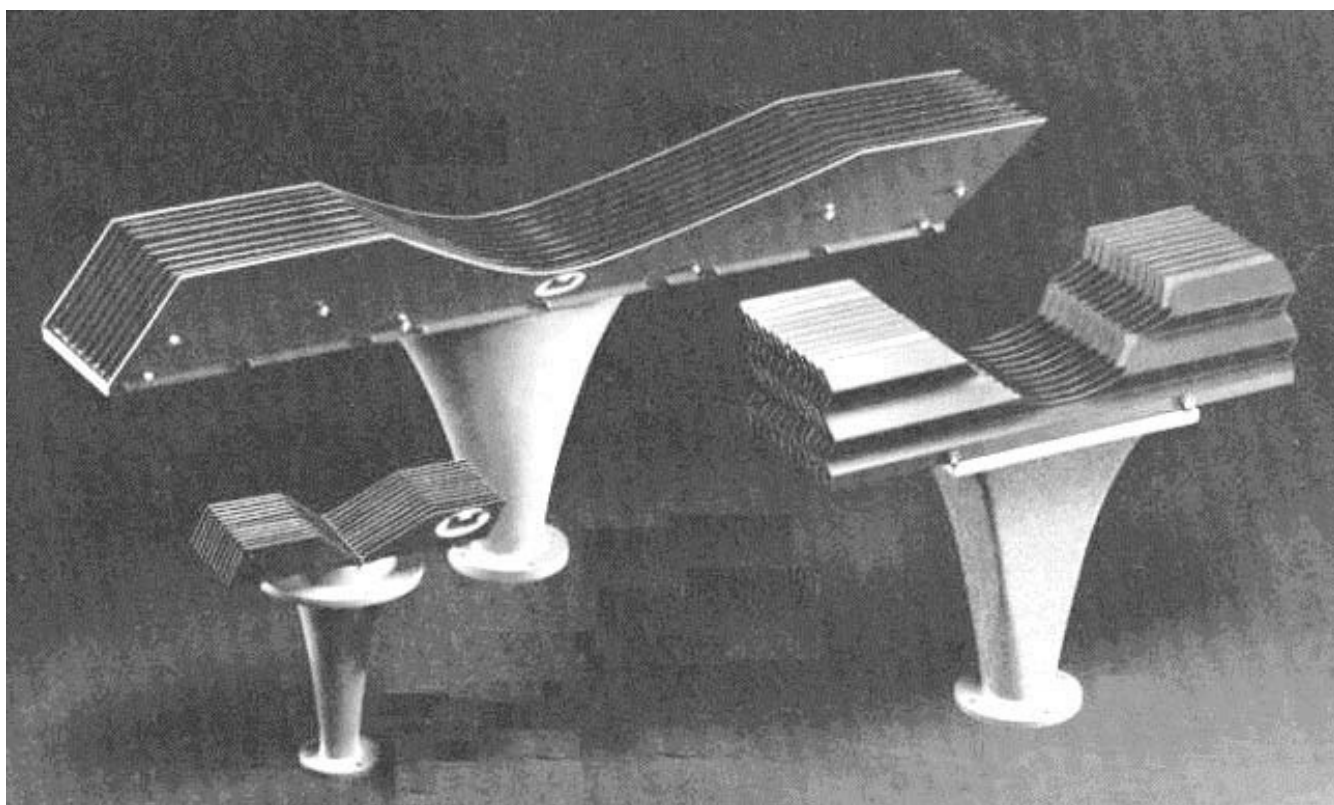


figura 6.17 lentes acústicas vintage cortesia JBL Professional Usualmente suas formas eram côncavas e as estruturas continham uma série de furos ou aberturas para a passagem do som.

A finalidade precípua desses dispositivos era promover o espalhamento das médias e das altas frequências, que tendem a ser mais direcionais. Assim eram obtidos aumentos

significativos de $\angle CH$.

Esse ângulo variava de acordo com o projeto construtivo da lente, mas podia chegar aos 160° , ou mesmo mais. Utilizar lentes acústicas sempre foi uma maneira alternativa para obter amplo $\angle CH$, sem necessidade de combinar falantes.

A tecnologia de projeto e fabricação das lentes acústicas progrediu muito. Atualmente há formas muito sofisticadas de desenhar e produzir lentes acústicas, ainda com o mesmo objetivo de promover o espalhamento do campo acústico. Veja o caso da figura 6.18.



Acoustic Lens Technology

Traditional loudspeaker design dictates that the listener needs to be positioned within an acoustic 'sweet spot' in order to get the most from the listening experience. Our acoustic lens technology creates an improved sense of space and realism while maximizing the area in front of the loudspeaker where the sweet spot exists. Sound is dispersed over a 180° angle, so whether you are at the wheel or a passenger watching the countryside slide by, it will feel like you have a front row seat in one of the world's best auditoria.

figura 6.18 lentes acústicas de tecnologia atual cortesia Bang Olufsen A foto na figura 6.18 exibe um produto de lavra Bang Olufsen, em princípio voltado para o som automotivo. ABO lembra que, com falantes convencionais as pessoas precisam ficar nos “sweet spots”. Que são locais onde são naturalmente verificadas as melhores condições sônicas. Isso, por força de orientação espacial dos eixos principais dos falantes. ABO informa que sua tecnologia de lentes acústicas é criada percepção muito aperfeiçoada de espaço e de realismo, por efeito de maximização da área de cobertura na frente dos falantes. Precisamente onde antes ocorriam os “sweet spots”. ABO informa que a dispersão sônica com sua tecnologia é de aproximadamente 180° , o que significa que não importa onde as pessoas estão, elas terão a percepção de quem senta nas filas frontais dos melhores auditórios do mundo.

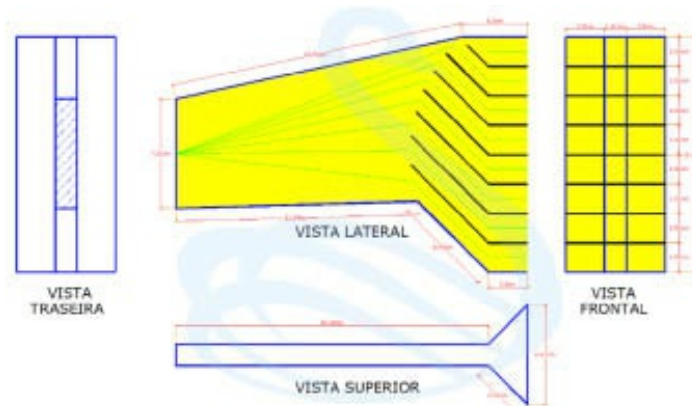


figura 6.19 desenho de minha lente refratora, para uso com driver de compressão acervo do engº Luiz

Fernando O. Cysne No passado desenhei algumas lentes acústica similares a essa da BO. Uma delas foi projetada para uso com caixas acústicas line array, que é o que mostra a figura 6.19. Outra foi projetada para uso em áreas ajardinadas. A foto da figura 6.20 mostra um desses produtos, instalado no Epcot Center, em 1982. Ele tem o formato de um cogumelo, é de cor verde e, nessa figura, aparece na parte inferior bem no centro da foto.



figura 6.20 caixa acústica para jardim com formato de cogumelo, instalado no Epcot Center acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Descobriu-se há muitas décadas que para aumentar o Q de uma fonte de som arranjam-se os falantes em pilhas verticais, como no caso das caixas line da figura 6.19. A foto da figura mostra uma instalação para um dos shows da cantora Cláudia Leite. Esse é um arranjo de line arrays e, como tal, será discutido mais detalhadamente no capítulo 7, a seguir.

Portanto, o particular falante é escolhido não é só em função de seu Q , mas também de seus ângulos de cobertura e padrões polares, e como será visto a seguir, de sua sensibilidade axial, de sua resposta de frequência, e de sua máxima potência admissível.

Frequentemente o engenheiro de áudio se defronta com o problema de não obter cobertura adequada para um recinto utilizando apenas um falante de cada tipo numa fonte única. É o caso das figuras 6.22.A e 6.22.B.

Para um ambiente fechado de proporções regulares, com área de piso retangular, é comum a utilização de duas ou mais cornetas de médias e de altas frequências, cada uma “cobrindo” uma parte de toda a área a ser atendida.



figura 6.21 empilhamento (array) de falantes e cornetas para aumento do Q do conjunto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Em espaços retangulares normais, falantes orientados para as partes mais próximas do palco devem ter $\angle CH$ algo elevado. E por isso não conseguem atingir grandes distâncias sem perda apreciável de qualidade. Eis a razão pela qual esse tipo de produto é denominado “short throw”.

Aqueles orientadas para as partes mais afastadas têm ângulos de coberturas menores, e por isso são chamados “long throw”. Há falantes com ângulos intermediários de cobertura, denominadas “medium throw”.

A figura 6.22 esquematiza um arranjo básico destes, com 2 cornetas de médias e altas frequências, e uma só caixa acústica de baixas frequências.

Em espaços fechados, a ideia de se utilizar uma só caixa acústica de baixas frequências, ou grupo delas, tem por lastro o fato de que, como os coeficientes médios de absorção geralmente aumentam com a frequência, os campos reverberantes na parte inferior do espectro são suficientes elevados para conduzir o material reproduzido por essas caixas até as regiões mais distantes da audiência.

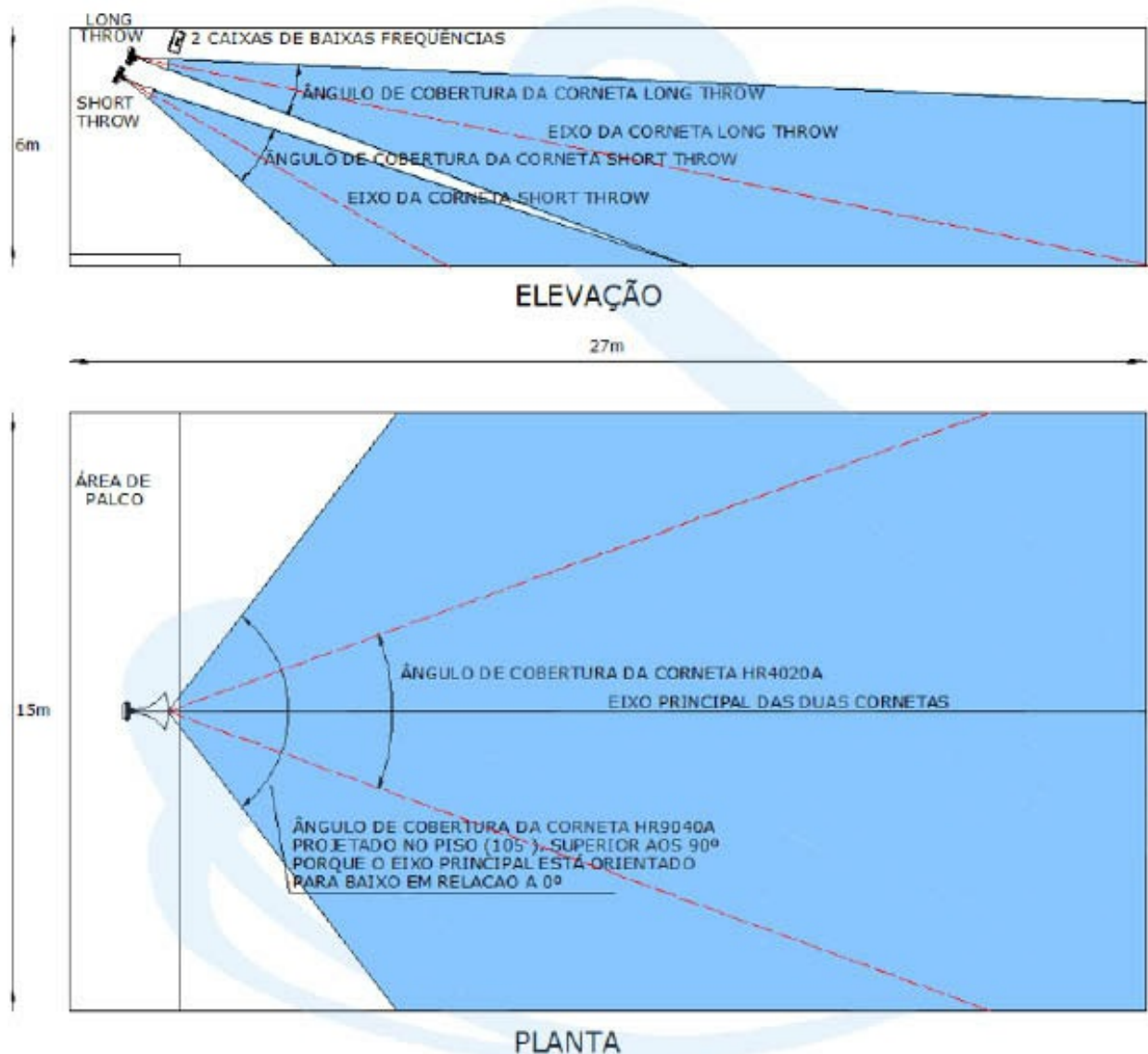


figura 6.22 combinação de projetores diferentes para melhorar a cobertura acústica de um local fechado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 6.4.1.3 Fonte Múltipla A figura 6.23 exibe a foto de um caso de fonte múltipla, onde são utilizados três falantes em três locais distintos, fixados no forro, sob o eixo longitudinal.

As diferentes localizações dos falantes é o que caracteriza a fonte múltipla.

O leitor mais atento poderia perguntar por que não arranjar tudo numa fonte única, como esquematizado na figura 6.22?

A resposta é bastante simples. Pretender usar fonte única em casos de recintos muito longos e relativamente estreitos, implica em utilizar altas relações de diretividade para propiciar a cobertura adequada na parte posterior da área a ser atendida. A relação de diretividade deve ser tão mais elevada quanto maior é a relação comprimento/largura do recinto, para um dado pé direito.

Pois bem, na maioria desses casos a elevada relação de diretividade do conjunto simplesmente não permite cobertura suficientemente ampla, especialmente nas partes frontais da área atendida. O resultado imediato disso é a baixa inteligibilidade.

Quando analisamos a equação de Peutz para cálculo da inteligibilidade, constatamos que a inteligibilidade da palavra pode ser melhorada com o aumento da relação de diretividade do falante, ou com a redução de D_2 , ou com obtenção simultânea das duas coisas.

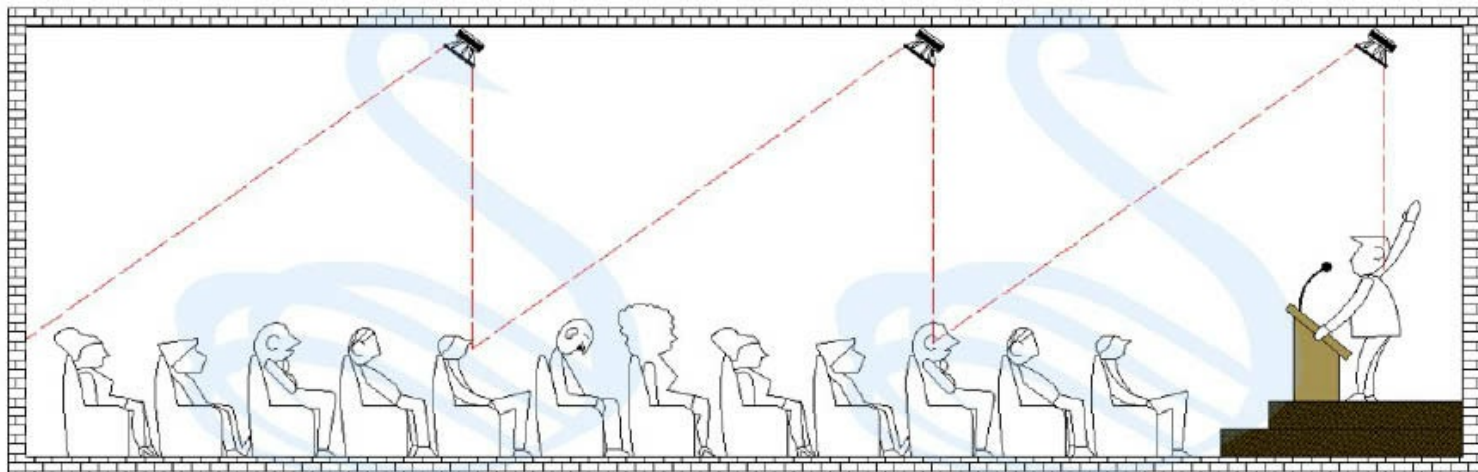


figura 6.23 ilustração de fonte múltipla acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mas reduzir D_2 não significa necessariamente levar o ouvinte para mais perto da fonte de som. Também se pode pensar em levar a fonte de som para mais perto do ouvinte. Esse é o conceito que dá origem à solução apresentada na figura 6.23.

Nestes casos de fonte múltipla, cada caixa acústica, ou grupo delas, cobre uma parte bem definida de toda a área a ser atendida.

A figura 6.24 apresenta uma instalação real que fiz na Catedral de Amparo.

Em razão do comprimento relativamente exagerado dessa igreja, fui obrigado a usar duas caixas acústicas no forro.



figura 6.24 Catedral de Amparo, à esquerda vista do forro com as duas caixas acústicas e, à direita, as duas caixas vista da parte acima do nível do forro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O desenho da primeira caixa acústica é feito como se o recinto fosse constituído apenas da parte coberta por esta mesma caixa acústica.

As demais caixas poderão ou não ter redução da seção de baixas frequências, tipicamente abaixo de 250 Hz, pelos mesmos motivos já analisados para os casos de fonte única.

E também, porque as frequências até esse limite têm baixa contribuição para a inteligibilidade.

A quantidade total de falantes a utilizar pode ser calculada por:

$$N = \frac{Q_{\text{MIN}}}{Q_{\text{DISPONÍVEL}}} \quad (6.3)$$

Sendo $Q_{\text{DISPONÍVEL}}$ a relação de diretividade do falante escolhido por cobrir adequadamente sua área de abrangência, com a menor distância D_2 praticável. Q_{MIN} é determinado diretamente pela expressão de Peutz, com $AL_{\text{CONS}} \% = 15\%$ (ver expressão 6.9).

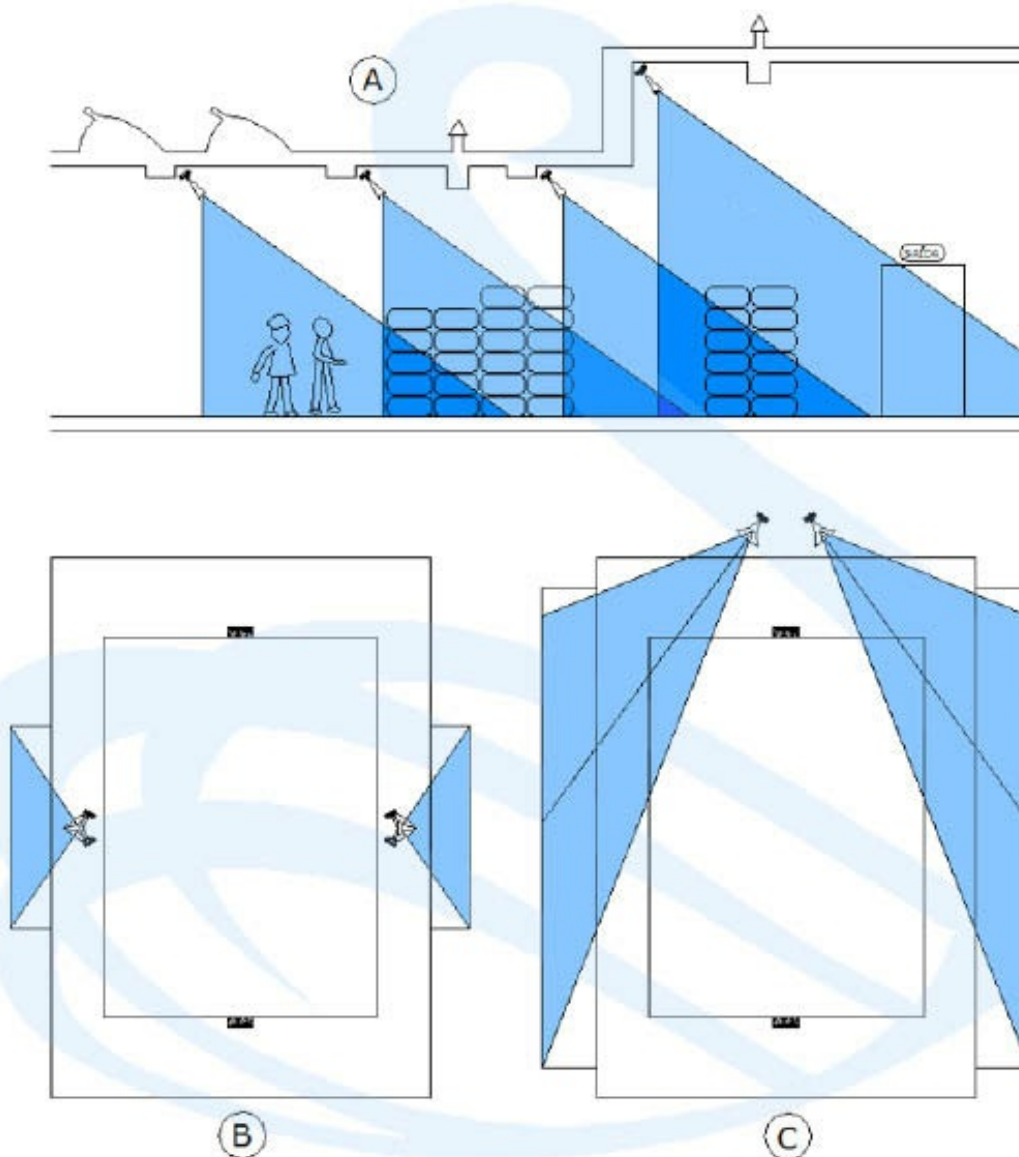


figura 6.25 (A) Instalação industrial, (B) Pequeno campo de futebol, e (C) Campo de futebol de tamanho médio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 6.25.A, 6.25.B e 6.25.C mostram variações diferentes de aplicações da fonte múltipla.

Essa modalidade de localização de falantes frequentemente exige o emprego da técnica de atraso de sinais, o que será visto a seguir.

Antes de entrar no assunto “falantes distribuídos” recomendo que o leitor estude com carinho e muita atenção o que discutimos até este ponto sobre localização de falantes, já que esse é um dos marcos pelos quais muitos e muitos projetistas experientes realmente iniciam seus projetos.

É evidente que a experiência conta bastante. Sou testemunha de muitos casos nos quais, mesmo com experiência, a falta de base teórica foi a responsável por erros de partida que praticamente não podem ser superados a posteriori. Pior do que isso, as empresas acabam investindo de forma séria em erros.

Tente sair desse grupo, infelizmente numeroso até o momento.

6.4.1.4 Falantes Distribuídos (Overhead) Quando a quantidade N de falantes calculada para a modalidade fonte múltipla começa a se tornar elevadamente suspeita, e a distância D_2 a ser

consideravelmente reduzida, é provável que estejamos nos aproximando de uma outra modalidade de localização, denominada falantes distribuídos.

Falantes distribuídos é uma técnica utilizada principalmente em locais onde o pé direito é muito baixo em relação às dimensões horizontais.

A quantidade total de falantes empregados depende exclusivamente do espaçamento entre os falantes. A figura 6.26 ilustra a ideia.

Embora possa se pensar em diversos padrões de espaçamento, há dois deles em particular que aparentemente ganharam a preferência dos projetistas.

São os padrões quadrado e hexagonal.

Cada um deles pode ser subdividido em inúmeras variantes, mas para ambos há três variantes mais empregadas, denominadas extremidade com extremidade, sobreposição mínima e sobreposição de centro e centro.

Estes nomes estão relacionados com as coberturas dos falantes ao nível de audição das pessoas. As figuras 6.27.A, 6.27.B e 6.27.C ilustram as três variantes do padrão quadrado, enquanto as figuras 6.28.A, 6.28.B e 6.28.C, adiante, ilustram as variantes do padrão hexagonal.

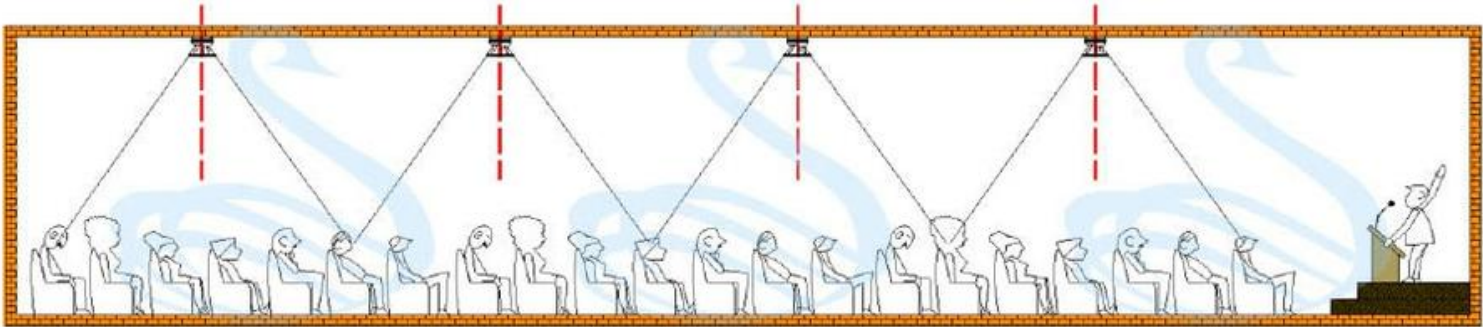


figura 6.26 ilustração da técnica falantes distribuídos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

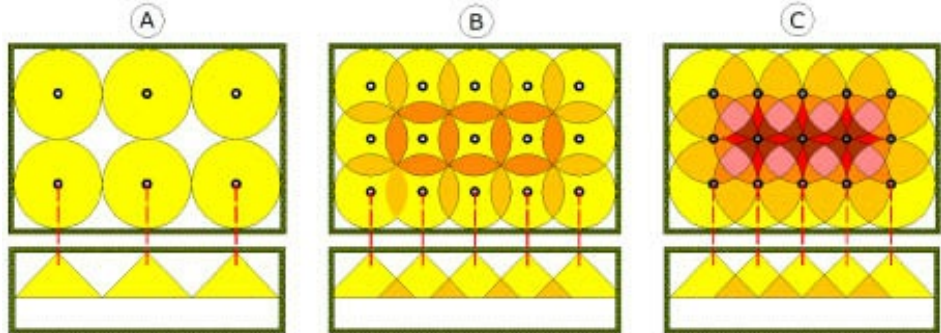


figura 6.27 padrão quadrado de localização de falantes distribuídos (A) variante extremidade com extremidade (B) variante sobreposição mínima (C) variante sobreposição de centro a centro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A tabela 6.4 oferece elementos para que você avalie a homogeneidade de cobertura de cada variante de cada padrão.

tabela 6.4

PADRÃO	VARIANTE	VARIAÇÃO MÁXIMA (dB) DE COBERTURA ACÚSTICA
QUADRADO	Extremidade com extremidade	4,35
QUADRADO	Superposição mínima	2,04
QUADRADO	Superposição de centro a centro	1,39
HEXAGONAL	Extremidade com extremidade	5,40
HEXAGONAL	Superposição mínima	2,59
HEXAGONAL	Superposição de centro a centro	1,17

O projetista deve escolher o padrão de espaçamento, e sua variante, em função da acústica do recinto a ser sonorizado, do nível de ruído ambiente, e da finalidade para a qual se destina o recinto. E ainda, à luz do orçamento disponível pelo cliente.

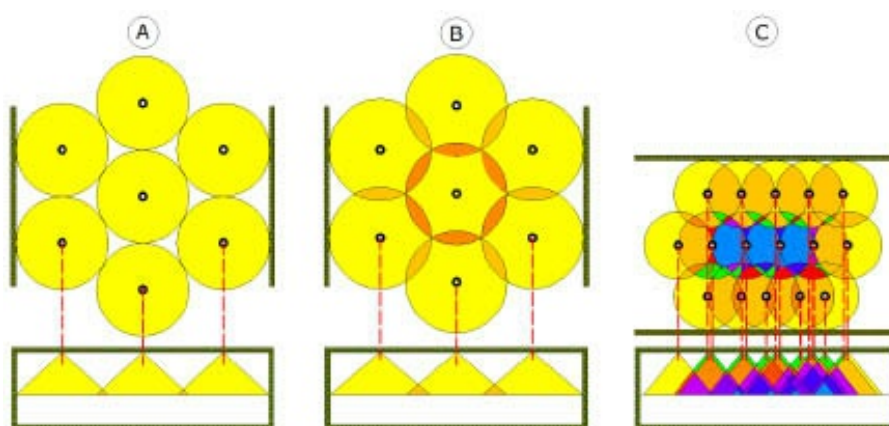


figura 6.28 padrão hexagonal de localização de projetores distribuídos (A) variante extremidade com extremidade (B) variante sobreposição mínima (C) variante sobreposição de centro a centro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Apenas a título de exemplo, vamos mencionar dois casos extremos que impõem necessidades bem distintas.

De um lado está o recinto muito reverberante, com elevado nível de ruído ambiente, no qual se tem a expectativa de que os ouvintes, por serem de faixa etária mais elevada, podem apresentar dificuldades de audição.

A escolha natural seria o padrão hexagonal em sua variante superposição de centro a centro.

De outro lado, fica o recinto acusticamente tratado, com RT_{60} controlado e baixo nível de ruído ambiente, destinado a entrevistas coletivas para a imprensa.

Nessas condições, orador e ouvintes geralmente estão bem treinados para oferecer mensagens de fácil assimilação, e sua interpretação, respectivamente.

Poderia então se optar pela variante extremidade com extremidade, pertencente a qualquer dos dois padrões.

Evidentemente, as verbas disponíveis podem pressionar o projetista a optar por coberturas de menor densidade do que seria desejável.

Os tipos de falantes mais empregados no método projetores distribuídos são as cornetas multicelulares, que apresentam padrões de cobertura bastantes favoráveis para essa aplicação, e falantes coaxiais ou full range de 12, 10 ou 8 polegadas de diâmetro nominal, devidamente

instalados em caixas acústicas tipo baffle infinito.

Essas deverão ser totalmente preenchidas com lã de vidro, lã de rocha ou fibra mineral.

Os volumes internos mais recomendados ficam no entorno de 200 litros para falantes de 12 e 10 polegadas, e de 80 litros para falantes de 8 polegadas.

A técnica falantes distribuídos apresenta três vantagens e duas desvantagens em relação à fonte única e fonte múltipla. As vantagens • cobertura pode ser excepcionalmente boa, como mostra a tabela 6.4

- técnica muito flexível, pois falantes, ou grupos deles, cobrindo áreas eventualmente desocupadas, podem ser temporariamente desativados, de modo que não contribuam para aumentar o campo reverberante • os falantes podem trabalhar com diferentes níveis de potência elétrica, possibilitando cobertura homogênea mesmo em locais onde o pé direito não é constante As desvantagens
- preço elevado para sistemas bem projetados • sensação que os ouvintes têm do som estar sendo projetado por cima de suas cabeças Esta última desvantagem pode ser contrabalançada consideravelmente com a aplicação adequada de técnicas de atraso de sinal.

6.4.1.5 Pew Back Alguns recintos apresentam condições acústicas muito desfavoráveis, e audiência da qual se pode esperar por problemas auditivos. À guisa de exemplo são citadas igrejas e templos, além de locais nobres acabados em mármore. Em tais ambientes o RT_{60} pode ultrapassar a casa dos 10 segundos, e o nível de ruído ambiente costuma ser bastante elevado.

Para que se mantenha o AL_{CONS} % dentro de limites aceitáveis, pré cálculos podem mostrar a necessidade de se trabalhar com D_2 muito reduzida, tipicamente 1 a 2 metros, e elevada quantidade de falantes.



figura 6.29 pew back instalado na Catedral de St. Patrick, 5ª Avenida, Nova Iorque à esquerda vista do interior do templo, ao centro um detalhe da instalação e à direita uma foto para dar ideia de relação entre assentos e unidades pew back acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essas situações configuram as condições típicas para a aplicação do método “pew back”, no qual os falantes são localizados nas partes traseiras dos bancos ou assentos, voltados para os ouvintes que ocupam as filas de trás.

A figura 6.29 ilustra um caso de pew back.

Cada falante destina-se a dar cobertura para até três ouvintes.

6.4.1.6 Combinações Uma das combinações mais utilizadas dos métodos vistos anteriormente é fonte única com falantes distribuídos.

A fonte única destina-se a cobrir a maior parte da audiência.

Mas podem haver determinadas regiões não atingidas diretamente, que são cobertas por falantes distribuídos.

A figura 6.30 ilustra bem a ideia.

Um desses casos é o Estádio Cícero Pompeu de Toledo, o Morumbi, equipado com uma fonte única. Esta fica em um dos lados do Estádio, entre as torres de iluminação.

Sua cobertura é total sobre o anel superior, mas parcial para os anéis intermediário e inferior, que só são cobertos diretamente em suas partes mais próximas do campo.

As partes não cobertas diretamente são atendidas por falantes locais, distribuídos por toda a volta das arquibancadas, nos dois anéis inferiores.

Essa combinação exige o emprego de atraso de sinais.

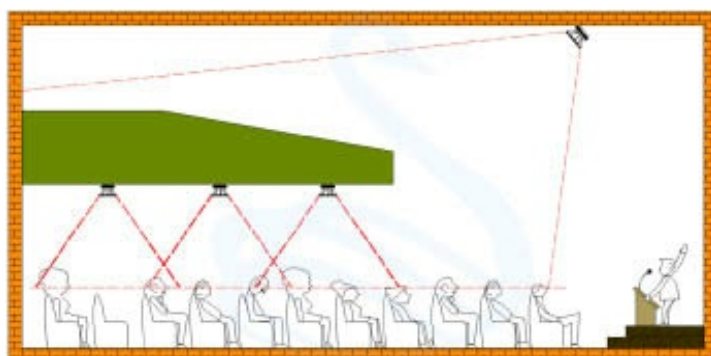


figura 6.30 ilustração de combinação de fonte única com projetores distribuídos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

6.4.1.7 Fonte Única Dividida - Um Caso Especial

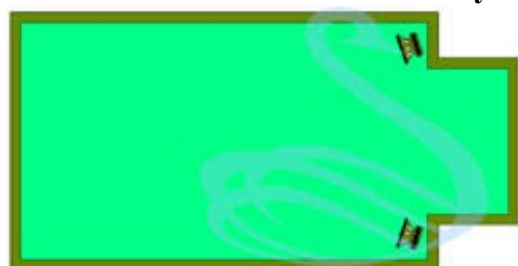


figura 6.31 fonte única dividida acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Por diversas razões, como por exemplo para se manter um determinado visual, algumas vezes a fonte única não pode ser localizada na parte central, sobre o palco, e deve ser dividida, parte de um lado, parte de outro.

Como na figura 6.31.

Todas as pessoas acomodadas no entorno da linha central julgarão o sistema isento de problemas, pois receberão os sons diretos das duas partes ao mesmo tempo. As pessoas muito próximas de qualquer das partes receberão bem antes os sinais desta parte, da qual estão mais próximas, e só depois os da outra parte. Levando-se em conta as típicas diferenças dos níveis de pressão sonora desses sinais recebidos em momentos diferentes, esses indivíduos também julgarão o sistema isento de problemas.

Para todas as demais regiões da plateia ocorrerá um fenômeno denominado filtragem pente.

Trata-se de uma irregularidade verificada nos sinais diretos, resultante do cancelamento de fase dos sinais produzidos pelas duas fontes.

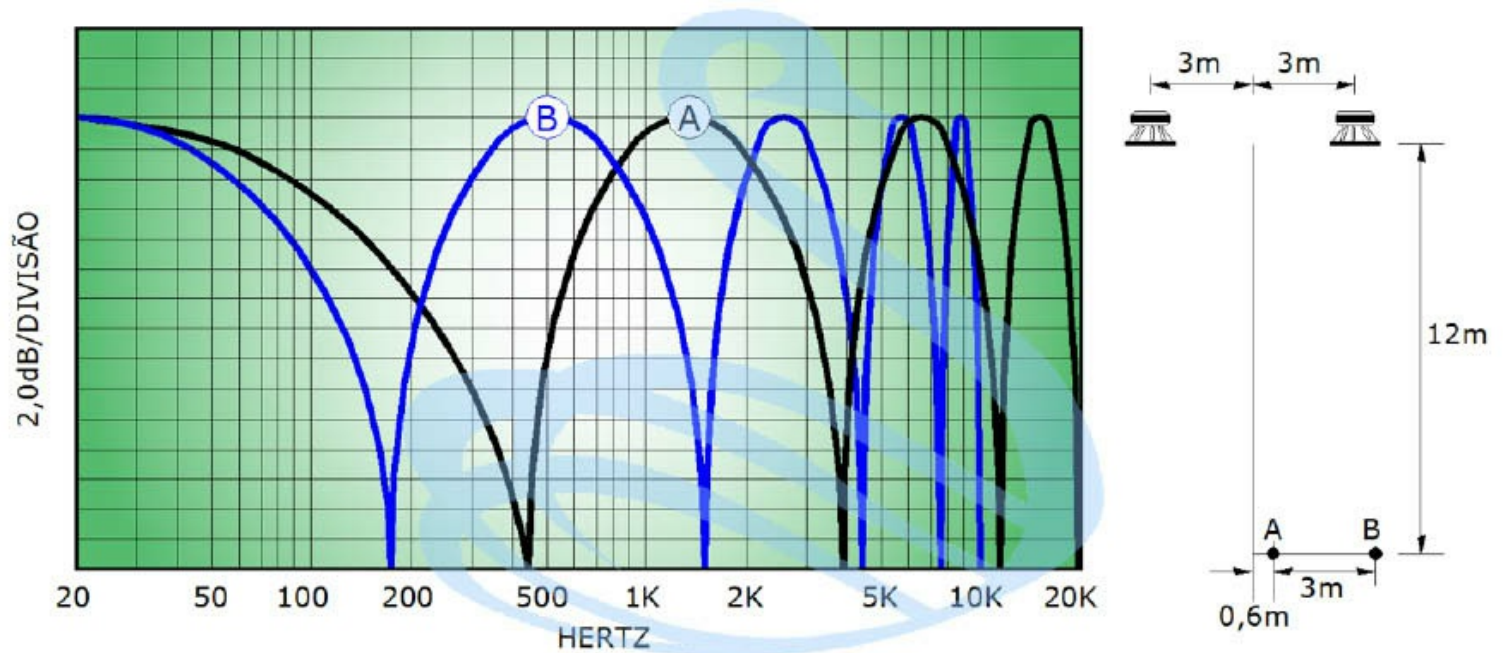


figura 6.32 efeito filtragem pente resultante do emprego da fonte dividida, para ouvintes situados nos locais A e B da plateia, para as distâncias indicadas na figura acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.32 mostra uma das muitas medições do resultado deste efeito.

Agindo apenas sobre os sinais diretos, e não sobre o campo reverberante, o efeito tem a propriedade de, além da sua própria irregularidade e se sua característica falta de linearidade, modificar a relação dos sinais diretos para o campo reverberante, degradando a inteligibilidade.

O fenômeno é facilmente percebido por nossos ouvidos, e acentua-se quando os ouvintes movem horizontalmente suas cabeças.

A solução para este problema costuma ser dada experimentalmente. Consiste em operar qualquer das partes laterais 3,0 a 6,0 dB abaixo da outra. Muitas vezes a solução é apenas parcial, mas geralmente reduz significativamente a área problemática.

6.4.1.8 Estereofonia O motivo mais alegado para se utilizar fonte única dividida é que se pretende obter estereofonia. Mas nesse caso, cada parte deve cobrir toda a área da audiência, e não apenas um segmento dela.

Não se pensa em distribuir falantes para obter estereofonia em casos de sistemas de reforço destinados exclusivamente a discursos, ou voz.

Em diversos grandes teatros e salas de concerto no mundo todo, há sistemas estereofônicos para música, e também, fonte única para reforços de voz.

Como na figura 6.33, que reproduz um projeto elaborado e instalado pela Cysne Sound Engineering.

A foto superior oferece uma visão panorâmica e de conjunto, evidenciando os canais

esquerdo, direito e central. A foto inferior detalha a montagem do canal esquerdo. Vemos aí 4 falantes de 18 polegadas, 4 falantes de 12 polegadas, 4 cornetas, que são JBL equipadas com drivers de compressão de elevado desempenho, e 16 tweeters.

Nota-se que estes estão agrupados em 4 pilhas de 4 tweeters cada uma. Isso foi feito para que a diretividade no plano vertical coincidisse com o previsto em projeto. O controle da diretividade no plano horizontal foi obtida com a adequada angulação azimutal e zenital de cada pilha.



figura 6.33 exemplo de sistema com três canais. A fonte única central (ou canal central) para voz, e a fonte única dividida (ou canais laterais esquerdo e direito) para música com efeito estereofônico
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

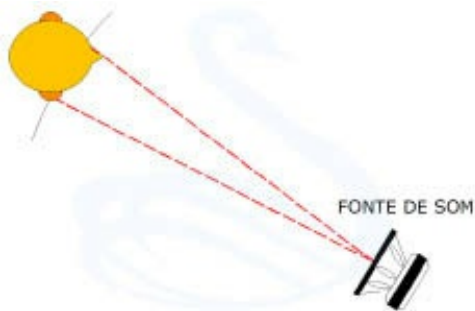


figura 6.34 indivíduo e fonte de som acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.34 representa uma pessoa e uma fonte de som.

Essa representação é muito autêntica e realista, na medida em que mostra uma situação cotidiana comum. Ou seja, os dois ouvidos não estão igualmente distanciados da fonte de som.

Por isso, duas coisas acontecem. Há uma diferença no tempo de chegada dos sons aos dois ouvidos, já que a velocidade do som é a mesma e os espaços a viajar são ligeiramente diferentes.

E por não se tratar de distâncias idênticas, as atenuações serão próximas, mas não idênticas. Isso implica numa diferença de nível de pressão sonora entre os dois ouvidos. Além disso, a própria cabeça age como obstáculo acústico, aumentando esta diferença de níveis.

Abaixo de 1.000 Hertz predomina a diferença de fase, e acima disso a diferença de intensidade.

Nosso cérebro analisa constantemente essas diferenças de fase e de intensidade. E é graças a esse processamento denominado audição binaural, que podemos distinguir a localização precisa das fontes de som no plano horizontal. É exatamente a audição binaural que nos permite “perceber” o efeito estereofônico. Por outro lado, os ouvidos e o cérebro de cada indivíduo se unem para exibir uma faculdade psicofísica muito interessante, que é o tempo de memorização auditiva humana.

Ou seja, o tempo durante o qual retemos a lembrança do som após a extinção da fonte que o produz.

O fenômeno é chamado efeito precedência, e o tempo de “retenção” varia de pessoa para pessoa, mas situa-se tipicamente entre 40 e 50 milissegundos. Esses efeitos são discutidos com mais detalhes no Apêndice E.

Se a diferença de tempo entre os sons que chegam aos dois ouvidos supera os 40 a 50 milissegundos, dependendo da diferença de nível entre eles, o efeito estereofônico pode ser substituído por outro, chamado efeito separação. Cujas características principais são confundir muito o ouvinte e reduzir a inteligibilidade do programa.

Como o som viaja a cerca de 345 m/s (no ar, com temperatura de 23° C), os 40 milissegundos correspondem ao tempo que ele consome para percorrer pouco menos do que 14 metros.

É relativamente fácil obter estereofonia em residências por dois motivos.

Um, que 14 metros é a distância consideravelmente elevada para as dependências de praticamente todas as residências. Outro, que o efeito estereofônico depende bastante do conteúdo de agudos dos programas, e praticamente qualquer equipamento doméstico medíocre responde até 20 kHz, ou mais.

Com equipamentos profissionais ocorre o inverso. As respostas de frequência são geralmente limitadas, como será visto posteriormente, e 14 metros é muito pouco diante das distâncias dos grandes ambientes que usualmente são objeto de sonorização profissional.

Agora, imaginem a estereofonia num grande recinto, onde além das enormes distâncias envolvidas e das respostas de frequência limitadas, nem sempre se dá a devida atenção para coisas básicas, elementares e fundamentais, como o nível de pressão sonora apropriado, a distribuição homogênea de energia pelo recinto, o índice percentual de perda de articulação de consoantes, *etc.*

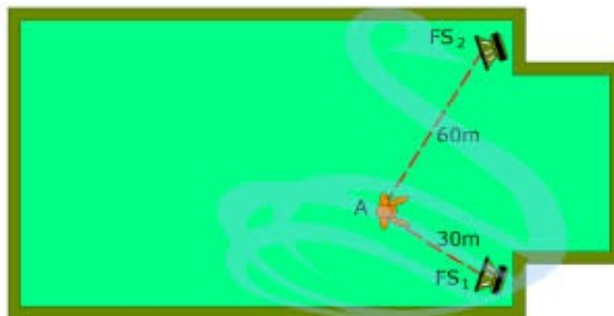


figura 6.35 efeito separação resultante de uma diferença de fase exagerada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É por essa e por outras que sonorizações com duas fontes de som separadas, uma de cada lado do palco, podem se transformar em verdadeiras aberrações, com resultados sônicos extremamente desagradáveis. De fato, se analisarmos a figura 6.35, veremos que alguém sentado no ponto A ouvirá FS₁ 87 milissegundos ($30 \text{ metros} \div 345 \text{ metros/segundo}$) após o momento em que o som deixa a fonte, e ouvirá FS₂ 174 milissegundos ($60 \text{ metros} \div 345 \text{ metros/segundo}$) após o momento em que o som deixa FS₂. A diferença de tempo é $174 - 87 = 87$ milissegundos, portanto, bem superior aos 40 milissegundos, nosso limite.

Nessas circunstâncias o efeito estereofônico será substituído pelo efeito separação.

Mesmo que hajam áreas beneficiadas com a estereofonia, elas tenderão a ser muito reduzidas. E essas tentativas mais ou menos frustradas de obtenção de efeito estéreo acabam sendo “compensadas” com níveis de pressão sonora que às vezes chegam ao limiar de desconforto auditivo.

O ouvinte é brindado então com um som horroroso e estupidamente alto.

Trata-se de algo tão comum no Brasil que provavelmente todos os leitores já experimentaram situação semelhante.

A fonte única simples pode evitar o inconveniente de modo soberbo. Esta é a outra boa razão para darmos preferência a ela. Entretanto, preferência é uma coisa, possibilidade outra.

Com tudo isso, ainda não se pode dizer que não é possível haver estereofonia, ou mesmo multifonia em grandes ambientes. Apenas é preciso observar que os cuidados deverão ser multiplicados para que as características sônicas do sistema projetado não venham a comprometer os resultados previstos.

Exemplo de boa montagem multifônica, em caráter praticamente pioneiro no Brasil, foi exibida no show de Cesar Camargo Mariano e Nelson Ayres no Teatro Brigadeiro, em São Paulo, em 1.984.

6.4.1.9 Atraso de Sinais Como os sons viajam no ar a uma velocidade finita, consomem um certo tempo para que se propaguem de um ponto a outro.

Se considerarmos que aquela velocidade finita é 344 metros/segundo, podemos calcular o tempo de deslocamento pela expressão.

$$T = \frac{D}{V} \quad (6.4)$$

onde

• T é o tempo em segundos, • D é a distância entre os pontos, em metros, e • V é a velocidade do som em metros/segundo. O tempo consumido pelos sons durante sua propagação é um fenômeno natural. Contudo, os sinais elétricos correspondentes aos sinais de áudio podem ser convenientemente registrados, armazenados e liberados num momento posterior ao de seu registro. Isto é, com introdução de atraso artificial.

Os aparelhos projetados para promover atraso artificial nos sinais empregam técnicas analógicas, como a CCD (Charge Coupled Device) ou a Bucket Brigade, e principalmente as digitais, baseadas em modulação delta e PCM (Pulse Code Modulation).

Mais detalhes sobre esses processadores podem ser encontrados no capítulo 4.

Qualquer que seja a técnica utilizada, o atraso pode ser sempre controlado. Geralmente em passos que variam de 10 microssegundos, a valores mais típicos, da ordem de um ou alguns milissegundos.

Não vamos nos deter aqui nos aparelhos em si, mas nos fundamentos do que se convencionou chamar técnica de atraso de sinais. A rigor, ela é o complemento indispensável da localização dos falantes, especialmente quando se pensa em obter bons resultados.

Assim, o engenheiro de áudio deve conhecê-la bem, para poder tirar partido favorável de sua aplicação.

A figura 6.36 esquematiza um ouvinte numa sala, acomodado sobre a linha imaginária que divide a plateia nos lados esquerdo e direito. As duas fontes de som, FS_1 e FS_2 produzem exatamente o mesmo programa monofônico. Se os níveis de pressão sonora são aproximadamente iguais, o mecanismo auditivo do ouvinte fundirá as duas fontes numa só, e a impressão de que o som vem exatamente do ponto central entre ambas é nítida.

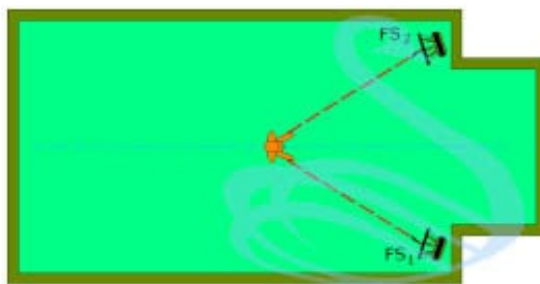


figura 6.36 ouvinte numa sala, recebendo simultaneamente os dois sinais das duas fontes de som acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

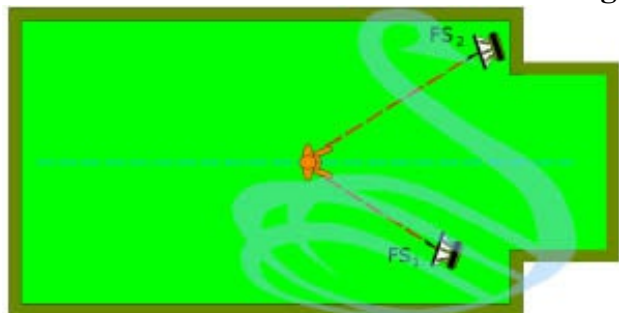


figura 6.37 ouvinte numa sala, recebendo os dois sinais das duas fontes de som com diferença de tempo

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.37 mostra a fonte FS_2 mais distante do ouvinte do que FS_1 .

Se essa diferença de distância for, por exemplo, 7 metros, o ouvinte ouvirá o material produzido por FS_2 cerca de 20 milissegundos ($7 \text{ m/s} \div 344 \text{ m/s}$) depois de ouvir o material produzido por FS_1 .

Em função dessa diferença de tempo o ouvinte tem a nítida percepção de que todo o som vem apenas de FS_1 , e nada de FS_2 .

Esse efeito, básico para praticamente todos os casos da técnica da aplicação prática do atraso de sinais, é conhecido por efeito Haas, ou efeito Fay-Hall, ou efeito de Henry, e tantos outros nomes que apenas sugerem sua importância.

Uma vez que esse é um ponto chave em diversos aspectos do áudio profissional, a exemplo de como obter efeitos especiais em gravações de estúdios, e como obter direcionamento natural em grandes espaços, é preciso aprofundar bastante sua análise.

Entretanto, este certamente não é momento adequado para conduzirmos essa discussão. Eis porque o tópico mereceu um fórum próprio, que é o Apêndice E. Portanto, lá você encontrará uma discussão detalhada sobre essa característica inusitada da percepção psicoacústica humana, com destaque para a inibição sensorial do sinal acústico que nos chega com atraso em relação ao primeiro sinal.

Para mais detalhes ainda consultar a tese de doutorado do Dr. Helmut Haas, de título “Über den Einfluss eines Einfachechos auf die Hörsamkeit von Sprache”.

O arranjo da figura 6.38 permite reproduzir artificialmente as condições da figura 6.37 com o emprego de atraso eletrônico de 20 milissegundos nos sinais de entregues a FS_2 , que agora guarda fisicamente a mesma distância do ouvinte que FS_1 .

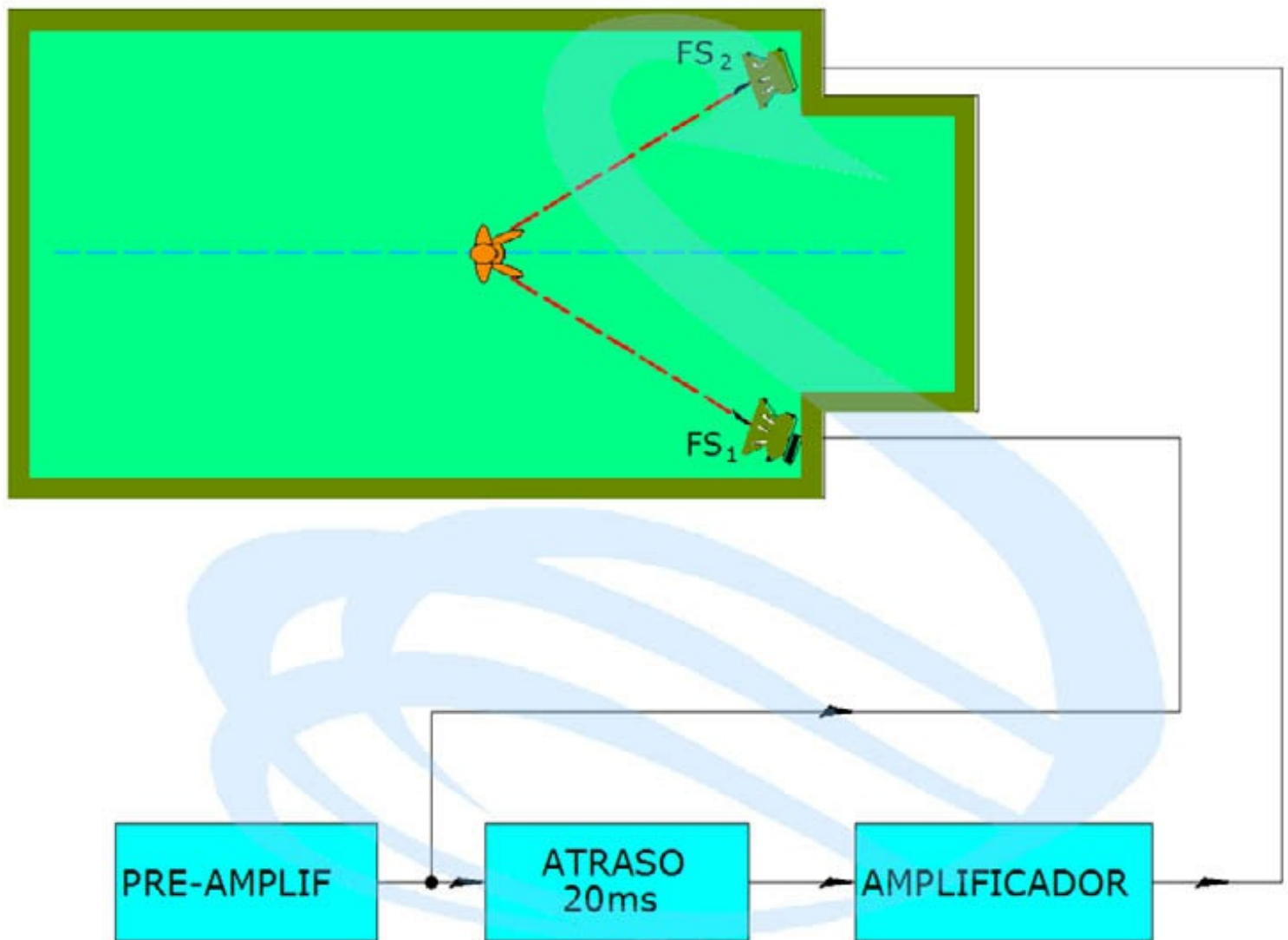


figura 6.38 atraso eletrônico de sinais capaz de promover diferença de fase para um ouvinte equidistante de suas fontes de som acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

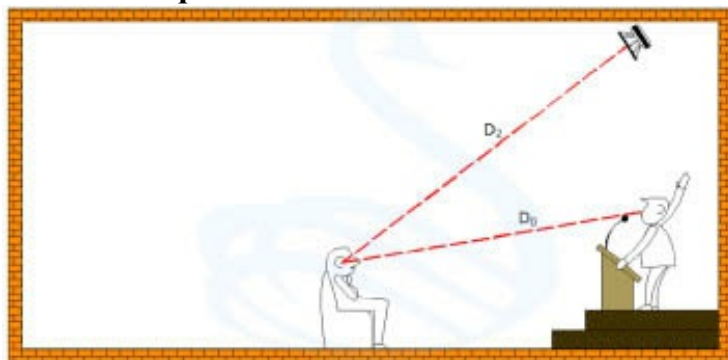


figura 6.39 situação típica em que o ouvinte ouve inicialmente o som direto, proveniente do orador, e de pois o som reforçado via projetor de som acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isto posto, vamos analisar um caso bastante simples, porém muito comum no cotidiano do engenheiro de áudio, como o da figura 6.39. Nesses casos, muitas vezes é possível empregar a técnica de atraso de sinais sem utilização de equipamentos de atraso.

De fato, o ouvinte estará recebendo tanto os sinais diretos provenientes do orador, quanto os sinais reforçados provenientes do falante. Digamos que D_0 seja 25 metros, e D_2 um pouco maior, como sugere o desenho. Consequentemente, o ouvinte ouvirá antes o som direto proferido pelo orador, e depois o som reforçado via falante, já que a velocidade do som é a mesma, mas não as distâncias a percorrer.

Nosso objetivo é fazer com que o ouvinte tenha a impressão de que os sons venham do orador, e não do projetor. Se o atraso do material produzido pelo projetor em relação aos

sinais diretos do orador para o ouvinte for 20 milissegundos, podemos atingir o nosso objetivo fazendo

$$D_2 = D_0 + 20 \text{ milissegundos equivalentes} = 25\text{m} + 344 \text{ m/s} \times 0,02\text{s} = 31,9 \text{ metros}$$

Além disso, é preciso que ajustemos o sistema para que o nível de pressão sonora do sinal reforçado não ultrapasse 10,0 dB em relação aos sons diretos provenientes do orador, no local onde está o ouvinte.

Esta é uma típica aplicação da técnica de atraso de sinais para fonte única.

No caso de fonte múltipla, é praticamente obrigatório usar a técnica de atraso de sinais.

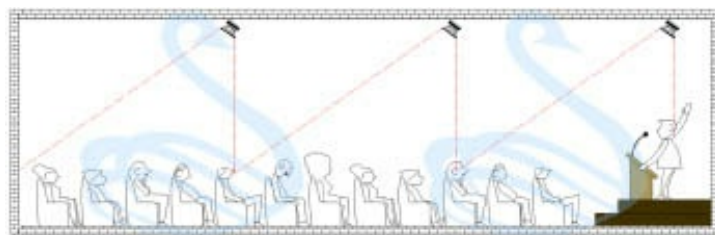


figura 6.40 situação de atraso com três falantes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.40 mostra um caso com três falantes e respectivas áreas de cobertura.

Os ouvintes situados na área de cobertura do segundo falante também ouvem o primeiro falante, porém um certo tempo depois que ouvem o segundo. Que se deve à diferença de distâncias.

Da mesma forma, os ouvintes dentro da área de cobertura do terceiro falante ouvem também o segundo após um certo tempo depois que ouvem o terceiro.

Esse quadro sugere que o segundo falante receba sinais eletronicamente atrasados em relação ao sinal recebido pelo primeiro, e que o terceiro receba sinais atrasados em relação ao sinal recebido pelo segundo.

Os dois atrasos podem ser calculados.

Para se determinar o atraso dos sinais do segundo falante, escolhe-se arbitrariamente um ponto qualquer no plano de audição da área de cobertura do segundo falante. Calcula-se a distância desse ponto até o primeiro falante.

Em seguida, calcula-se a distância do mesmo ponto ao segundo falante, e subtrai-se esse valor do calculado anteriormente. Repete-se o processo para diversos outros pontos na área de cobertura do segundo falante, e acha-se uma média entre todos os valores calculados, dando-se maior peso para as posições que ouvem antes o primeiro falante.

Esse valor médio é a diferença média de distâncias. Se o chamarmos dm_2 , podemos calcular o atraso dos sinais para o segundo falante, que é

$$T_2 = dm_2 \text{ (metros)} / 344 \text{ segundos}$$

A determinação do atraso dos sinais para o terceiro falante, T_3 , se faz de acordo com o mesmo procedimento.

Aos atrasos de sinal T_2 e T_3 calculados devem ser acrescentados de 18 a 25 milissegundos, para que se conte favoravelmente com os benefícios do efeito Haas.

Essa faixa de 18 a 25 milissegundos é apenas um ponto de partida, pois os valores mais adequados podem ser facilmente determinados auditivamente no próprio local.

Um dos erros mais comuns que se observa quando do emprego da técnica de atraso dos sinais é exatamente não acrescentar esse adicional aos valores calculados.

O que é fácil de compreender, até porque alguns fabricantes internacionais de equipamentos de atraso de sinais sugerem através dos respectivos manuais de operação que se acrescente aos valores calculados apenas de 1 a 2 milissegundos. O que é um engano. E suas consequências são mais notáveis em recintos reverberantes.

Muitos especialistas concordam que esse é um erro fundamental, e que talvez seja o maior responsável pela utilização da técnica de atraso de sinais muito aquém do que seria de esperar. Especialmente diante de seu elevado potencial de obter excelentes resultados.

Embora tenha usado locais fechados em meus exemplos, a técnica é igualmente aplicável a locais abertos.

Também é possível empregar atraso de sinais para obtenção dos benefícios do efeito Haas quando se utiliza o método falantes distribuídos.

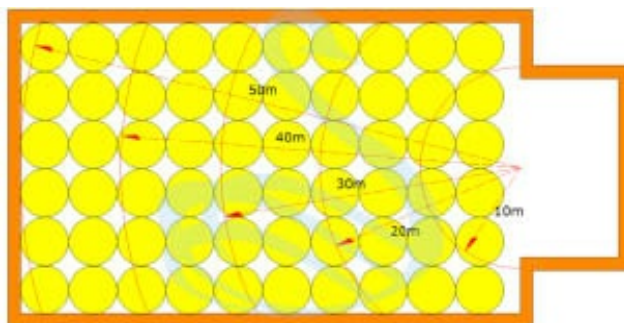


figura 6.41 maneira clássica de aplicar atraso de sinais a falantes distribuídos. Os círculos menores representam as coberturas acústicas dos falantes no plano de audição acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.41 mostra a forma clássica de como fazê-lo.

Trabalha-se com a planta do local, e são traçados círculos concêntricos cujos centros são coincidentes com a fonte natural de som. No caso de um auditório, o microfone.

O espaçamento entre os círculos deve ser da ordem de 10,0 metros, ao que corresponde um atraso de aproximadamente 30 milissegundos, mais um adicional da ordem de 10 a 15 milissegundos.

A faixa que fica entre o segundo e o terceiro círculo receberá sinais com atraso de 60 milissegundos, mais o mesmo adicional de 10 a 15 milissegundos, e assim sucessivamente.

A ideia aqui é fazer com que os espectadores, independentemente de seus lugares na plateia, recebam antes o sinal direto proveniente do orador, e depois, os sinais reforçados.

Quando os tempos estão devidamente ajustados, a impressão para os espectadores é de que todo o som é proveniente do palco.

Quando o local apresenta pé direito muito alto, é preciso estudar os níveis relativos dos projetores.

A figura 6.42 é a figura 6.30, à qual foram acrescentadas distâncias. Os falantes distribuídos que ficam sob o balcão devem ser operados com atraso de aproximadamente

$$\frac{(35-3)\text{metros}}{344\text{metros/segundo}} = 93\text{milissegundos}$$

Aos quais se acrescentam cerca de 20 milissegundos.

Caso semelhante é o do Estádio do Morumbi, anteriormente comentado. Como a fonte única cobre regiões que distam cerca de 500 metros dela própria, os falantes locais que dão cobertura aos anéis inferiores recebem sinais que são atrasados em até perto de 1,5 segundos, em relação à fonte única.

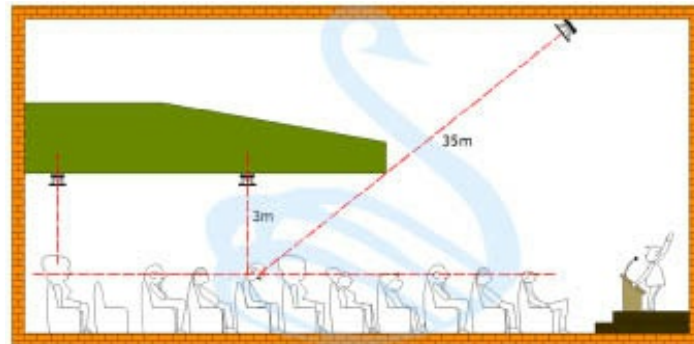


figura 6.42 maneira clássica de aplicar atraso de sinais a fonte única complementada por projetores distribuídos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.43 mostra o conhecido critério Doak & Bolt de atraso versus nível.

Seu eixo horizontal é graduado em milissegundos, correspondentes ao atraso entre duas fontes de som, como percebido por um ouvinte.

O eixo vertical está graduado em decibels, correspondentes à diferença de nível de pressão sonora entre os sinais das duas fontes, como percebida pelo mesmo ouvinte.

A curva com linhas escuras divide o retângulo em duas parte.

Pelo critério Doak & Bolt, sempre que um grupo de ouvintes estiver em situação correspondente à parte superior do gráfico, mais do que 10% deles se sentirão importunados. O que obriga ao engenheiro de áudio efetuar correções por meio de introdução de atraso de sinais, ou de ajuste de níveis, ou das duas coisas.



figura 6.43 critério de atraso Doak & Bolt de atraso versus nível acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando a situação corresponde à parte inferior do gráfico, entende-se que não é necessário aplicar correções, pois menos do que 10% dos ouvintes eventualmente se sentirão importunados. Mas mesmo assim, muitos procuram ajustes que, de preferência, não importunem ninguém.

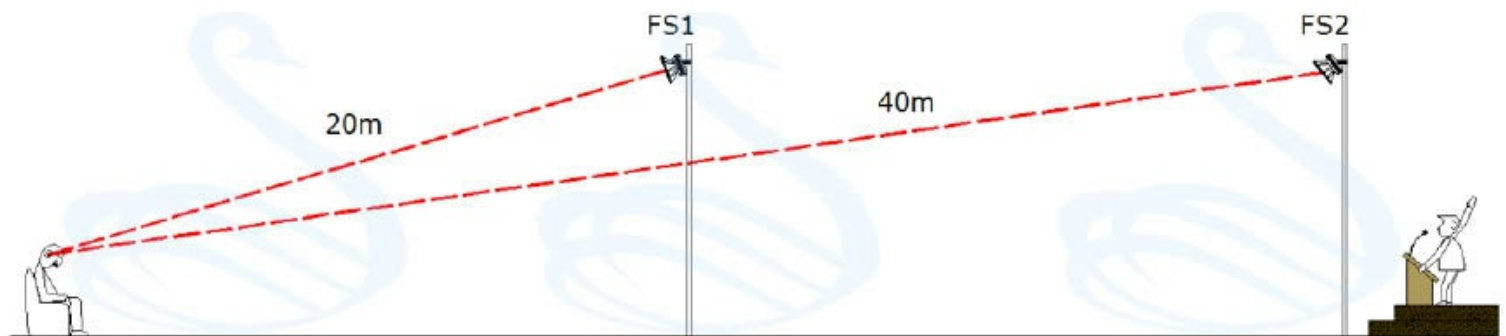


figura 6.44 situação típica de atraso de sinais em ambientes abertos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 6.44 o ouvinte está ao ar livre, a 20 metros da fonte FS₁ e a 50 metros de FS₂.

O atraso natural dos sons de FS₁ para o ouvinte é

$$\frac{20 \text{ metros}}{344 \text{ m/s}} = 58 \text{ milissegundos}$$

e de FS₂

$$\frac{50 \text{ metros}}{344 \text{ m/s}} = 145 \text{ milissegundos}$$

Para o ouvinte, a diferença de tempo entre as duas fontes é 87 milissegundos.

Se cada uma das fontes produz 100 L_p a 1 metro, em seus eixos principais, o ouvinte terá a seus ouvidos 74 L_p devidos a FS₁ (100 L_p - 20 log 20) e 66 L_p devidos a FS₂ (100 L_p - 20 log 50).

Logo, a fonte atrasada estará 8,0 dB abaixo da que a precede.

Entrando com o par - **8,0 dB; 87 milissegundos** no gráfico da figura 6.43, verifica-se que estamos ligeiramente acima da curva. Podemos resolver o inconveniente com aplicação de atraso aos sinais recebidos por FS₁, ou aumentando o nível de FS₁ sem alterar o de FS₂, ou por combinação das duas coisas.

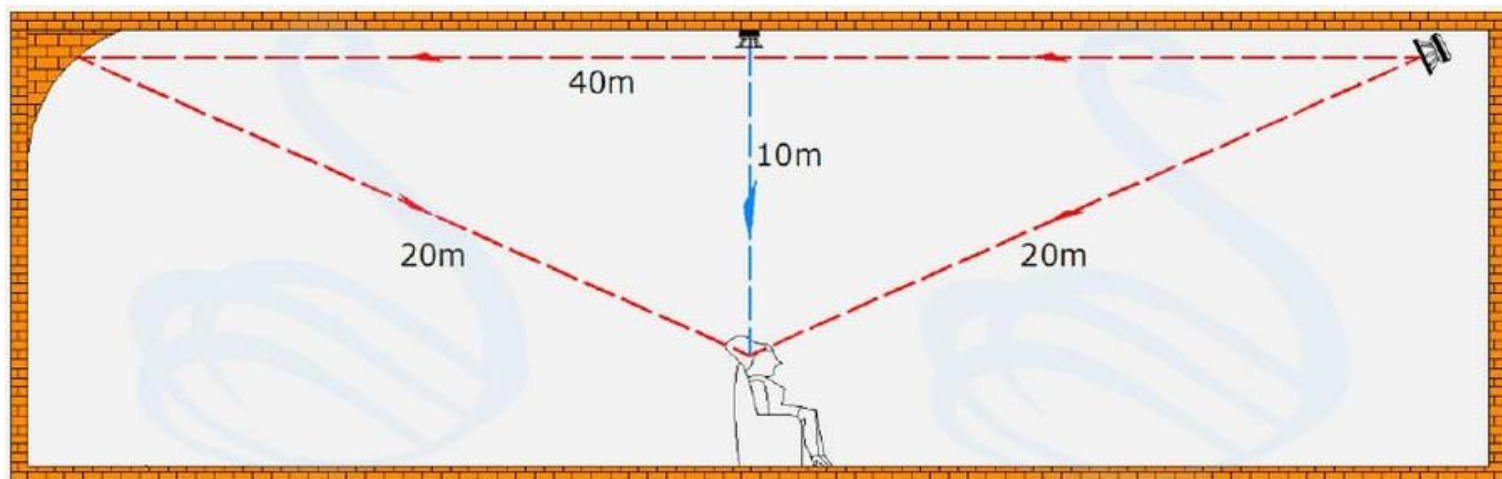


figura 6.45 situação atípica de aplicação de atraso de sinais em ambientes fechados, ilustrando como o atraso pode ser utilizado para correção de problemas localizados acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mas a técnica de atraso de sinais encontra incontáveis outras aplicações em áudio, desde as muito simples, até as extremamente complexas. Apenas para caracterizar mais uma aplicação, vamos trabalhar com outro exemplo, que é o da figura 6.45.

O sinal direto proveniente do falante principal viaja 20 metros até atingir os ouvidos do ouvinte. Um particular sinal refletido viaja 60 metros até o ouvinte. Esses caminhos são exemplificados na figura.

A reflexão deve-se fundamentalmente à forma côncava do fundo do recinto, aliás uma das fortes razões pelas quais ela é sistematicamente não recomendada.

Geralmente esse tipo de inconveniente só atinge pequenas regiões de uma grande plateia. Mas os ouvintes que nela estão ouvem a reflexão e a julgam nitidamente como eco. A técnica de atraso de sinais, contudo, permite mascarar o eco.

Como a região afetada é fisicamente pequena, é possível usar um falante sobre ela, como mostra a figura. Esse falante vai mascarar o eco. Para tanto, e para que não seja notado, ele deve ser ouvido cerca de 20 milissegundos após a audição do falante principal.

Contado a partir do momento em que o som que deixa o falante principal, o ouvinte só o ouve em

$$\frac{20 \text{ metros}}{344 \text{ m / s}} = 58 \text{ milissegundos}$$

Isso significa que o falante secundário deve ser ouvido pelo ouvinte 78 milissegundos após o som do falante principal tê-lo deixado. Como os 10,0 metros que separam o falante secundário do ouvinte correspondem a

$$\frac{10 \text{ metros}}{344 \text{ m / s}} = 29 \text{ milissegundos}$$

Portanto, o atraso dos sinais entregues ao falante secundário deve ser ajustado para

$$78 - 29 = 49 \text{ milissegundos}$$

Esses 49 milissegundos de atraso eletrônico somados aos 29 milissegundos de tempo de viagem do som do falante secundário ao ouvinte totalizarão os 78 milissegundos desejados.

Contado a partir do momento em que o som que deixa o falante principal, o ouvinte só ouve o som refletido em

$$\frac{60 \text{ metros}}{344 \text{ m/s}} = 174 \text{ milissegundos}$$

E o ouvinte ouvirá o som refletido $174 - 78 = 96$ milissegundos após ter ouvido o falante secundário. Guiados pela figura 6.42, verificamos que podemos mascarar com sucesso o sinal refletido se operarmos o falante secundário de modo que o nível de pressão sonora por ele produzido nos ouvidos do ouvinte fique 13,0 dB acima do sinal refletido.

6.4.2 Inteligibilidade
6.4.2.1 Definição de Inteligibilidade Inteligibilidade da palavra, ou simplesmente inteligibilidade, é o termo associado ao conjunto de fenômenos que nos fazem entender em maior ou menor grau as mensagens faladas que nos são dirigidas. Naturalmente, a inteligibilidade é aplicável a uma simples conversa pessoal entre dois ou mais indivíduos, mas também a mensagens processadas por sistemas acústicos e eletroacústicos, como megafones, sistemas telefônicos, sistemas de reforço de som, e diversos outros.

6.4.2.2 Fatores Que Afetam Diretamente a Inteligibilidade Para que avaliemos com mais clareza a multitude dos aspectos abrangidos pela inteligibilidade, especialmente quando ela é relacionada com os sistemas de áudio, devemos saber quais são os fatores que a afetam, entre os quais estão: • distribuição de energia pelo espectro correspondente aos sinais que ouvimos • largura da banda dos sinais que ouvimos • intensidade dos sinais que ouvimos • relação sinal/ruído dos sinais que ouvimos • tempo de reverberação do ambiente • relação campo direto/campo reverberante do ambiente • acuidade auditiva do ouvinte • qualidade da locução do orador • velocidade da fala do orador • distorções (elétricas e acústicas) do sistema eletroacústico • alinearidades do sistema eletroacústico • grau de compressão ao qual o sinal é submetido pelo sistema eletroacústico • equalização do sistema eletroacústico
6.4.2.3 Pesquisa Relacionada com a Inteligibilidade O reconhecimento da palavra é hoje uma coqueluche científica. É um assunto que tem arrebatado o interesse de cientistas da acústica, da linguística, de fisicistas, de audiologistas, de fonéticos, e de tantos outros profissionais, que têm se envolvido com pesquisas intensas e inúmeros estudos.

Infelizmente, até o momento em que estas linhas estavam sendo escritas, tudo o que se sabia era muito menos do que tudo o que não se sabia.

6.4.2.4 Fala Humana e Princípios da Fonética a anatomia do aparelho fonador Ter uma noção da anatomia do aparelho fonador humano, ainda que superficial, certamente facilita bastante a compreensão de todo o mecanismo da fala.

A figura 6.46 nos ajudará nesse propósito.

As partes com as quais estamos mais familiarizados são as fossas nasais, ou narinas, os lábios, os dentes, a cavidade bucal, ou boca, e a língua. Imediatamente abaixo desta fica a musculatura lingual, como mostra a figura. Na parte superior do desenho podemos ver que as fossas nasais se comunicam diretamente com a cavidade nasal, na qual estão os cornetos nasais. O superior, o médio e o inferior.

Atrás da cavidade nasal e da boca fica a faringe, ou garganta, que por razões óbvias é dividida na faringe nasal e na faringe oral.

A parte superior da boca é limitada pela abóbada palatal. A figura mostra claramente o véu palatino, o palato mole, e a extremidade denominada úvula, popularmente conhecida como campainha.

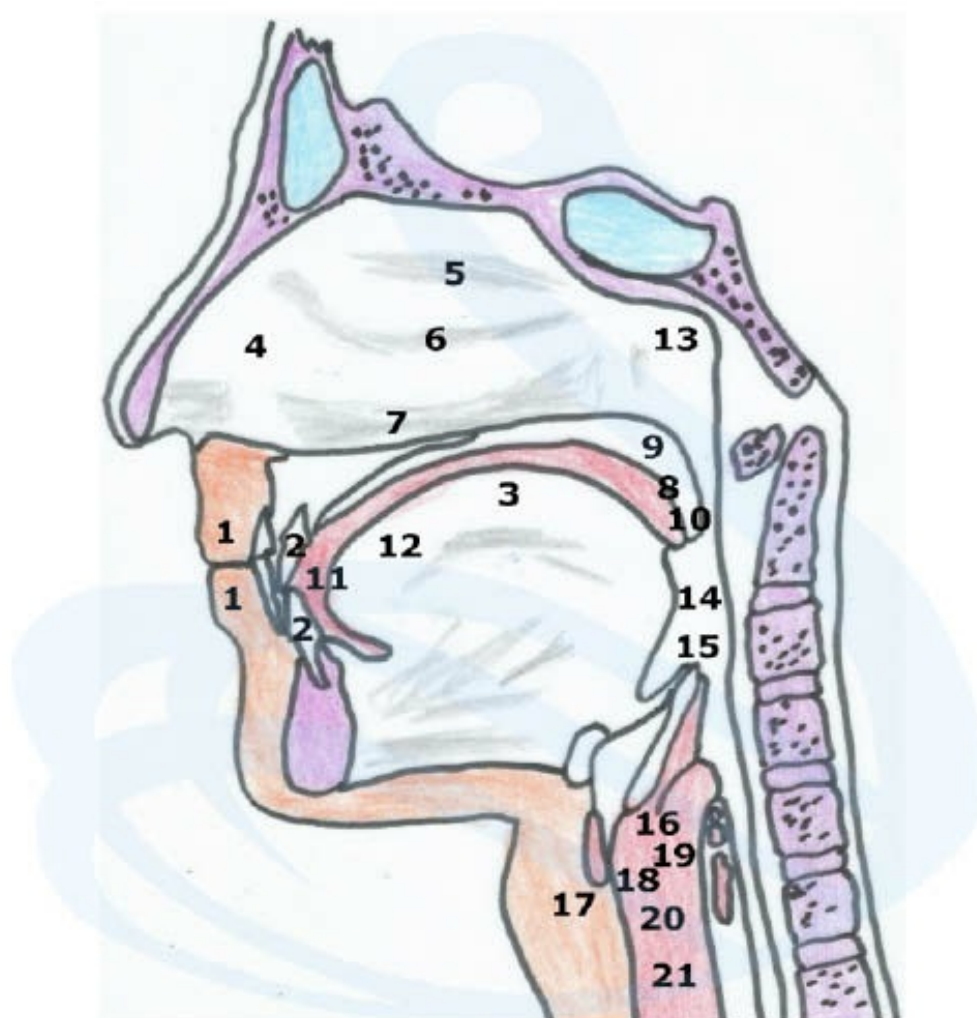


figura 6.46 esquema simplificado do aparelho fonador humano 1. lábios, 2. dentes, 3. cavidade bucal, 4. fossa nasal, 5. corneto nasal superior, 6. corneto nasal médio, 7. corneto nasal inferior (esses 3 cornetos compõem a cavidade nasal), 8. véu palatino, 9. palato mole, 10. úvula, 11. língua, 12. musculatura da língua, 13. faringe nasal, 14. faringe oral, 15. epiglote, 16. laringe, 17. cartilagem da tiróide, 18. falsas cordas vocais, 19. ventrículo, 20. cordas vocais verdadeiras, 21. traqueia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Abaixo da faringe fica a laringe, que é uma espécie de câmara que

precede a entrada da traqueia. A laringe fica situada na altura do pescoço, e é guarnecida por um conjunto de cartilagens unidas por membranas elásticas. Como sugere a figura, em condições normais a laringe é tanto passagem para o ar que respiramos, como também é o caminho natural dos alimentos que ingerimos.

Entre as muitas cartilagens da laringe estão a cartilagem da tiroide e a epiglote, ambas destacadas na figura. Que ainda nos mostra as posições aproximadas do ventrículo, das falsas cordas vocais, e das cordas vocais verdadeiras.

As falsas cordas vocais são uma espécie de válvula de saída que, uma vez fechada, permite que a pressão abdominal seja aumentada. Usamos esse expediente inconscientemente, por exemplo quando tossimos. Que é a liberação muito rápida da pressão abdominal.

As cordas vocais verdadeiras, ou simplesmente cordas vocais, estão diretamente relacionadas com a voz humana. São ligamentos formados por fibras elásticas muito finas, fixadas de um lado nas cartilagens posteriores da laringe, e de outro, fixadas num trecho angulado da cartilagem da traqueia.

Além disso, a laringe contém inúmeros músculos, capazes de movê-la como um todo, bem como suas cartilagens e estruturas, individualmente.

Na altura da parte inferior da sexta vértebra cervical está a fronteira entre a laringe e a traqueia. Esta, que se prolonga por cerca de dez centímetros, é uma espécie de tubo com formato aproximado de ferradura, mantido sempre aberto por cartilagens anulares, ligadas por membranas fibroelásticas. A parte inferior da traqueia se divide nos brônquios, que vão dar diretamente nos pulmões.

o mecanismo da fala e os órgãos envolvidos O ser humano é uma entidade que gasta boa parte de sua vida pensando. Podemos pensar em silêncio, por exemplo quando estamos para decidir atitudes ao dirigir um veículo. Mas ao comunicar, pretendemos externar nossos pensamentos.

De qualquer forma, ao pensar estamos procurando codificar nossos pensamentos em palavras.

Quando falamos, as palavras assumem significados previamente convencionados, que podem depender de como as palavras são pronunciadas.

O mecanismo da fala é um dos fenômenos mais fascinantes que ocorrem com o ser humano. Ele só é possível graças ao concurso combinado do cérebro, do aparelho fonador, e ainda, do sistema auditivo.

O cérebro organiza os pensamentos e lhes dá consistência, coordena as ações necessárias, controla todos os músculos do aparelho fonador para que articulemos corretamente, e ainda, interage com o sistema auditivo, e o supervisiona, em sua função de monitoração permanente de nossa fala.

Com efeito, é o sistema auditivo que realimenta o cérebro quanto à velocidade da fala, nível de emissão da voz, além de inúmeros outros parâmetros, incluindo-se aí possíveis problemas de dicção.

O processo completo faz com o que o cérebro atue permanente e simultaneamente sobre uma extraordinariamente elevada quantidade de eventos, incluindo-se aí o movimento síncrono de até 188 músculos diferentes, entre os quais os do sistema auditivo.

A linguagem falada só é possível graças à corrente expiratória de ar. Saindo dos pulmões, esta corrente caminha pelos brônquios, penetra e circula pela traqueia, atingindo a laringe.

A partir daí, o fluxo de ar expiratório começa a encontrar obstáculos.

O primeiro deles são as cordas vocais, que podem ou não vibrar com sua passagem.

O segundo obstáculo é o palato mole. Do ponto de vista anatômico, a função do palato é estabelecer o caminho para a corrente de ar. Quando levantado, a cavidade nasal fica bloqueada. Assim, o caminho único para a corrente de ar é a cavidade bucal. Quando o palato permanece abaixado, a corrente de ar pode sair tanto pela boca quanto pelo nariz.

Além desses obstáculos, podemos interpor vários outros ao longo do trato vocal. A exemplo dos órgãos móveis, como a língua e os lábios, ou dos órgãos fixos, como o palato e os dentes.

Naturalmente, as possibilidades de posicionamento de cada órgão do trato vocal, e suas combinações, nos permitem articular uma infinita variedade de sons.

o trato vocal e a modulação da fala O trato vocal pode ser estudado como um complexo sistema acústico ressonante.

Seu comprimento médio, desde as cordas vocais até os lábios, é de aproximadamente 17 centímetros. A área média de sua seção transversal depende de como estão os lábios, a língua, o palato e as mandíbulas. Podendo variar de completamente fechada até cerca de 20 cm².

A cavidade nasal tem comprimento total de cerca de 12 centímetros, e seu volume é de aproximadamente 60 cm³.

Todas essas dimensões estão relacionadas com as ressonâncias das partes do trato vocal, e seus efeitos sobre a fala, também chamados modulação.

Este é outro caminho que nos permite chegar à distribuição espectral da voz humana. O que é de nosso interesse imediato, já que pode nos mostrar como os sons articulados contribuem para a inteligibilidade da fala.

A figura 6.47 mostra como são produzidos os sons com as cordas vocais vibrando.

O gráfico A representa os pulsos gerados pela passagem da corrente de ar pela laringe. Nota-se que estamos diante de uma linha espectral com queda de energia com a aumento da frequência. Para a maioria dos seres humanos, a taxa típica dessa queda é da ordem de 10

dB/oitava.

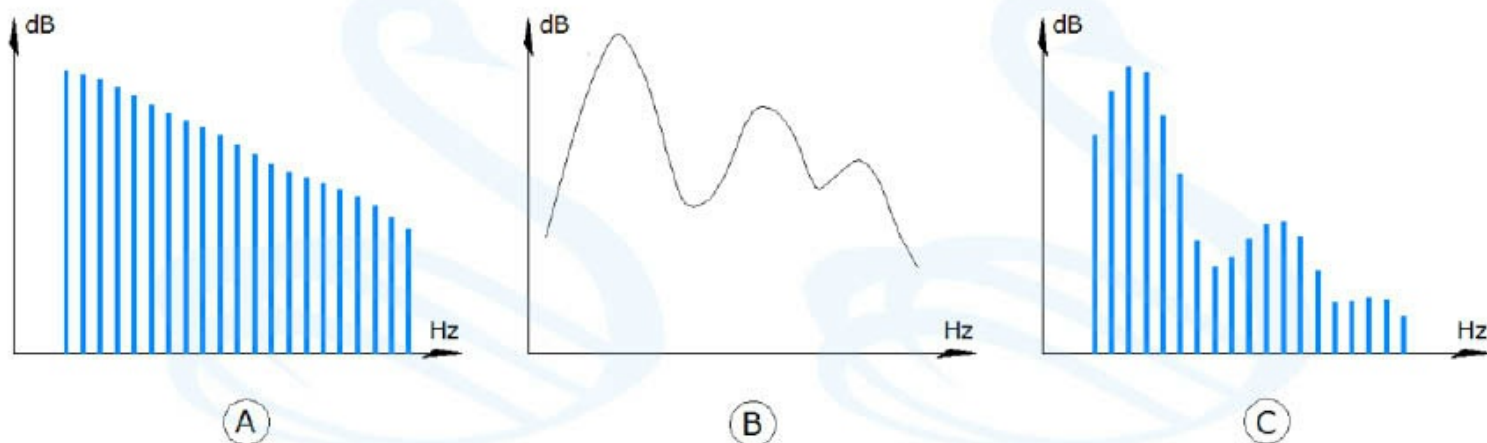


figura 6.47 produção de sons por vibração das cordas vocais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Esses sons passam então pelo trato vocal, que se comporta como um filtro variável com o tempo.

Como sugere o gráfico B. Essa particular forma deve-se exclusivamente às ressonâncias acústicas do trato vocal, também chamadas formants do trato vocal, das quais falamos anteriormente.

O trato vocal é praticamente fechado na extremidade das cordas vocais, e aberto na extremidade da boca. Como num autêntico tubo acústico de 17 centímetros, as ressonâncias ocorrem a quartos ímpares de comprimento de onda, sendo que os picos estão usualmente por volta de 500 Hz, 1.500 Hz e 2.500 Hz. O resultado final dos sons produzidos pelas cordas vocais, e já modulados pelas ressonâncias do trato vocal, é aproximadamente como nos mostra o gráfico C.

Coisa bastante semelhante ocorre quando as cordas vocais não vibram. Veja nos gráficos A, B e C da figura 6.48.

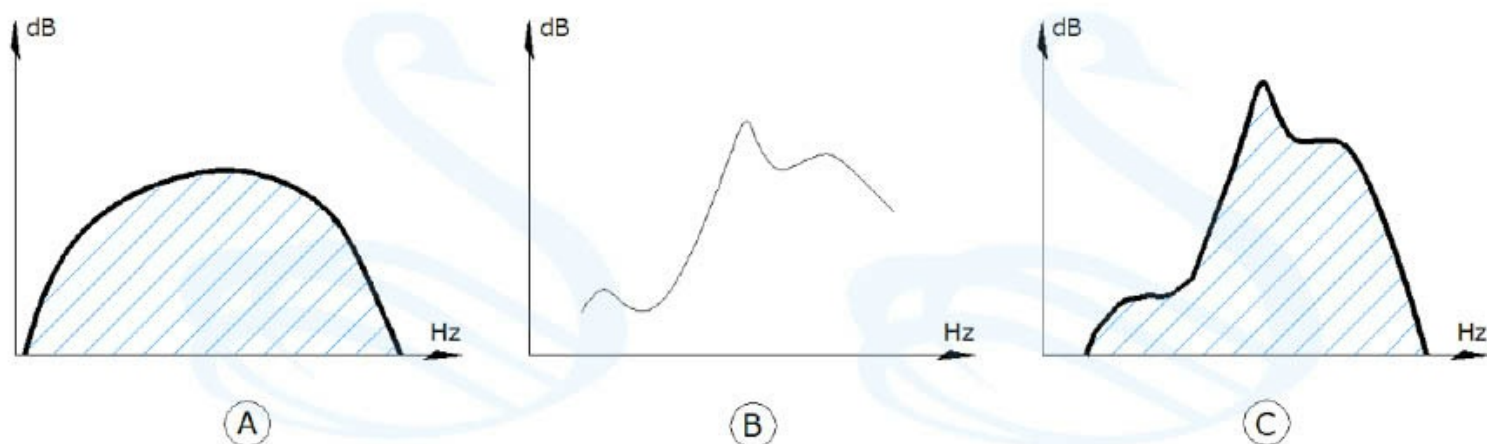


figura 6.48 produção de sons sem vibração das cordas vocais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Os sons assim produzidos são distribuídos pelo espectro de maneira praticamente aleatória, como no gráfico A.

O gráfico B representa o filtro variável com o tempo, imposto pelo trato vocal. Nota-se que, neste caso, as ações dos filtros não são semelhantes às do caso anterior. E a razão para isso é que, agora, as regiões do trato vocal envolvidas são diferentes, já que os sons são produzidos mais próximos da boca, e não mais nas cordas vocais.

O gráfico C representa os sons já modulados pelas ressonâncias do trato vocal.

Quando olhamos para os gráficos da figura 6.47 temos a impressão de estar vendo “fotografias”. Entretanto, enquanto falamos, as frequências de ressonância do trato vocal, bem como suas amplitudes, se alteram com incrível dinâmica. Fazendo com que as correspondentes formas gráficas se mostrem muito mais como “filmes” do que como “fotografias”.

a fonética, os sons e os fonemas Fonética é a ciência que estuda a formação dos sons falados, sua emissão fisiológica e propriedades acústicas, bem como suas classificações genéricas e específicas. Os principais estudos relacionados com a fonética estão especialmente orientados para a audição humana e suas aplicações.

Esse ramo científico é extremamente importante para o áudio. Mas também, para um sem número de outras atividades desenvolvidas pelo ser humano.

É exatamente por isso que as pesquisas nessa área consomem verdadeiras fortunas, e abrigam os esforços de cientistas de várias formações técnicas, cujo trabalho, geralmente desenvolvido de maneira ordenada e complementar, busca aprofundar nosso até agora relativamente pequeno conhecimento das relações causa-efeito envolvidas.

Muito recentemente, o Centro de Aprendizado e Atenção da Universidade de Yale, nos Estados Unidos, deu um passo decisivo no sentido de possibilitar o desenvolvimento da pesquisa com novas armas. Sentindo a necessidade e a possibilidade de utilizar novas ferramentas, resultantes do estado da arte em matéria de tecnologia de ponta, aquele Centro acabou colhendo um sucesso estrepitoso com a montagem de um aparelho que se mostrou altamente valioso na prática do dia a dia.

Trata-se de um enorme magneto, devidamente equipado, capaz de fotografar sequencialmente, e com incrível velocidade, a atividade do cérebro humano. A máquina, cujo nome técnico é MRI, ou Magnetic Resonance Image, foi logo batizado de Ímã.

Seu princípio de funcionamento é bastante simples.

Os cientistas de Yale descobriram que o cérebro humano comporta-se essencialmente de acordo com seu estado de atividade. Por exemplo, em condições normais de atividade, as células cerebrais são regularmente irrigadas pelo sangue arterial. Mas à medida que essas células tornam-se excitadas, o fluxo sanguíneo através dos minúsculos vasos de cérebro, que ficam nas imediações dessas mesmas células, é progressivamente mais intenso. E o sangue irrigador, cada vez mais rico em oxigênio. Inclusive, apresentando notáveis diferenças magnéticas e químicas.

Essas pequenas mas importantes diferenças podem ser facilmente captadas pelo MRI. A máquina é grande o suficiente para abrigar uma pessoa em seu interior. Assim, uma vez entrando no MRI, o indivíduo deve responder a algumas questões, todas formuladas com o

objetivo de alterar o estado de atividade de seu cérebro.

As fotografias de um cérebro em atividade normal, por exemplo como o de alguém que está descansando, sugerem claramente a ausência de uma atuação mental mais intensa. Já as fotografias de um cérebro com muita atividade, se parecem mais como fotos de frenéticos fliperamas. A elevada quantidade de fotografias se justifica porque as reações sanguíneas são instantâneas, e parecem acompanhar praticamente em tempo real as atividades com as quais estão relacionadas.

O bom do MRI é que ele dispensa injeções de corantes para obtenção de contrastes nas fotos. Além disso, seu uso é absolutamente seguro e indolor.

Toda essa tecnologia possibilitou, por exemplo, que um grupo de cientistas, chefiados pelos Drs. Sally e Bennett Shaywitz, identificassem com grande precisão as áreas ativadas no cérebro durante a leitura, ou durante a interpretação da palavra falada, além de outros elementos, como o tempo de reação de cada indivíduo.

Agora sabemos que parte do córtex cerebral identifica as letras. Que outra parte identifica os sons associados às letras. E ainda, quais são os locais do cérebro que buscam os respectivos significados.

Para o áudio, tudo isso é muito importante, pois agora pode-se relacionar a atividade cerebral com o entendimento da palavra. Realmente, pessoas que ouvem e entendem o que é dito, mostram atividade cerebral intensa e imediata. Ao contrário dos que não entendem, cujas fotografias cerebrais indicam pouca atividade do cérebro, e até mesmo um certo embotamento.

Mas as pesquisas se desenvolvem em todos os cantos. Assim, sob os auspícios do National Institute of Health, cientistas da cidade de Bethesda, Maryland, chegaram a inúmeras conclusões cientificamente comprovadas.

Uma delas, é que, idealmente, as pessoas precisam aprender a identificar os sons básicos de seus idiomas, e relacioná-los com as letras, antes de aprender a ler. Que em síntese seria o relacionamento desses mesmos sons, também chamados fonemas, com as palavras.

Outra dessas conclusões mostra claramente que as pessoas capazes de identificar com facilidade o que ouvem, ou o que leem, apresentam reações muito rápidas do que os que não entendem uma ou outra coisa.

Esses conhecimentos, inicialmente aplicados apenas em caráter experimental, já são utilizados hoje como parte do processo de aprendizado nos centros mais evoluídos do mundo. E sempre com elevado grau de sucesso. O método, que se baseia no aprendizado dos sons isolados, tem início assim que o bebê ensaia seus primeiros passos. Nos Estados Unidos, eles aprendem os 44 sons básicos do idioma inglês, e como esses sons acabam formando as 26 letras do alfabeto. A seguir, vão aprendendo a identificar cada um desses sons, e como decifrar

as palavras através deles. O material usado nesse arsenal de ensino muito atual inclui frases, histórias e livros.

Desse modo, em salas de aula com mais de 3 mil alunos, como algumas existentes em Houston, Texas, em Tallahassee, Flórida, e em Albany, Nova Iorque, até as mais crianças mais deficientes têm aprendido a ler ainda no primário. Não importando qual é sua raça ou a renda de sua família. Os cientistas garantem que crianças que aprenderam a identificar os sons básicos são capazes de identificar quaisquer palavras. Mesmo as que ainda não tenham ouvido antes. Naturalmente, nesses casos os correspondentes significados só chegam com o tempo.

Mas vejamos a fonética por um outro ângulo, completamente diferente do que acabamos de ver.

Uma palestra de horas a fio pode ser facilmente dividida em frases, que por isso mesmo são consideradas como a unidade de expressão das ideias.

Cada frase também pode ser facilmente dividida em palavras.

Do ponto de vista sônico, cada frase também pode ser dividida em fonemas. É crucial não confundir fonema com sílaba.

Vamos entender o fonema como sendo o menor segmento que se pode articular, e que ainda pode ser distinguido como som. Portanto, fonema é a menor peça articulável que ainda informa as diferenças de significado entre as palavras.

Por exemplo, o s de solo e o c de colo indicam uma diferença de significado. Portanto, são fonemas. E nitidamente não são sílabas.

Os fonemas também não devem ser confundidos com as letras do alfabeto. Com efeito, cada fonema representa um som, e nada mais do que um só som.

Com os 40 fonemas do idioma português, podemos pronunciar todas as palavras de nosso dicionário, dizer quaisquer sentenças, e manter conversas tão prolongadas quanto possamos desejar.

Mas os fonemas não são entidades completas por si só. Nem tampouco indivisíveis. Ao contrário, eles também são formados por partes menores, denominadas alofones. Que são exatamente peças não distinguíveis como sons.

Um espectrograma de palavras, ou de frases, permite a clara visualização dos fonemas e dos alofones. Para ter uma ideia disso, veja agora mesmo a figura 12.41 do capítulo 12. Que inclusive sugere o filme ao qual me referi anteriormente.

Disse antes que podemos produzir sons com ou sem a vibração das cordas vocais.

Todos os sons que articulamos podem ser classificados em vocálicos e não vocálicos. Os primeiros são produzidos com a vibração das cordas vocais. Do contrário, os sons são não vocálicos.

Quando as cordas vocais vibram, a corrente de ar é sequencialmente interrompida, de sorte que se transforma num trem de pulsos, cuja característica principal é mesmo a de um fenômeno periódico. Porque os pulsos se repetem a intervalos regulares de tempo. Como os ciclos de uma onda sinusoidal. Aproximadamente como sugere a figura 6.44.A.

Os fonemas assim articulados são chamados sonoros. Como quando soletramos as letras **b**, **d** e **g**.

Quando as cordas vocais não vibram, a corrente de ar prossegue em seu fluxo normal, até encontrar o palato mole. Que, como vimos, dirige a corrente do ar expirado.

Quando a corrente tem acesso às cavidades bucal e nasal, os sons produzidos são nasais, como o **m**, o **n** e o **nh**.

Com a cavidade nasal bloqueada, o único caminho de saída para os sons é a boca. Quando isso ocorre, e não interpomos quaisquer outros obstáculos, produzimos sons orais, como os das letras **a**, **e** e **o**.

Vimos que podemos interpor obstáculos ao longo do trato vocal. Nesse caso, o fluxo da corrente de ar é forçado a circular com mais pressão, usualmente o suficiente para provocar turbulência. E turbulência provoca sons. Que também são processados pelo trato vocal. Os sons assim produzidos são os fricativos. Como os das consoantes **f**, **s** e **v**.

Sua principal característica é a alta velocidade com que o ar deixa a boca. Pronuncie essas consoantes com um dedo adiante dos lábios para comprovar.

Os sons também podem ser produzidos pela interrupção abrupta da corrente de ar.

De fato, quando as cordas vocais não vibram, o fluxo de ar é mais constante, o que acaba por gerar zonas com pressão relativamente elevada. Que podem ser neutralizadas de forma praticamente instantânea. Os sons assim produzidos são os plosivos, e os correspondentes fonemas são denominados surdos. Como nas letras **p**, **t** e **k**.

vogais e consoantes **Do ponto de vista de inteligibilidade, é particularmente importante que conheçamos um mínimo sobre vogais e consoantes.**

Vogais são sons que passam pelo trato vocal com vibração das cordas vocais, e sem a interposição de quaisquer obstáculos. Assim, todas as vogais no idioma português são sonoras.

O que mais caracteriza o som de cada vogal é precisamente a maior ou menor abertura da cavidade bucal.

As consoantes podem ser sonoras ou surdas. Elas dependem de obstrução total ou parcial imposta pelos órgãos do trato vocal.

A emoção, a indignação, a calma, a ênfase que pretendemos emprestar à fala, e outros agentes semelhantes, determinam se a consoante será mais longa ou mais curta. Pense no **f** de formidável.

As vogais são as grandes responsáveis pela potência vocal na fala do ser humano. Elas apresentam nível que, em média, fica 21 a 28 dB acima do nível das consoantes mais fracas. Desse modo, as vogais têm elevado poder de mascaramento sobre as consoantes.

É interessante ter uma ideia dos espectros aproximados de nossas vogais:

a	2.400 Hz - 4.800 Hz
e	600 Hz - 1.200 Hz
i	1.200 Hz - 2.400 Hz
o	300 Hz - 600 Hz
u	150 Hz - 300 Hz

No processo da fala, podemos entender as vogais como a substância da palavra, e as consoantes como as linhas de informação. Com efeito, são estas que conferem a maior parte do significado de cada palavra que dizemos. Consequentemente, não é de admirar que também sejam as consoantes as grandes responsáveis pela inteligibilidade da palavra.

velocidade da fala Cérebro, músculos e sistema auditivo trabalham juntos para que produzamos três ou mais fonemas por segundo. Para que isso seja possível, toda a musculatura da fala está sempre ao menos 1 segundo à frente do que estamos falando, preparando o próximo movimento.

Por exemplo, quando dizemos a palavra categoria, enquanto estamos formando o “ca”, nossos músculos já estão se posicionando para o “te”.

Faça uma experiência. Comece a dizer a palavra categoria, mas pare antes do “te”, e observe sua musculatura e posicionamento do trato vocal, especialmente cavidade bucal e língua.

Algumas pessoas articulam as palavras muito rapidamente, enquanto outras o fazem em baixa velocidade. Mas de qualquer modo, podemos dizer que as palavras são sempre sequências de variações muito rápidas de frequência e de intensidade.

6.4.2.5 O Reconhecimento da Palavra e da Fala Vamos começar imaginando um cenário.

O de um orador que ocupa o púlpito de um auditório, conhecido por sua baixa inteligibilidade. O auditório, não o orador.

Ao pegar o microfone, o indivíduo sapeca à queima roupa “casa de terreiro esteto de pau”. Ainda assim, praticamente toda a audiência entenderá mesmo “casa de ferreiro, espeto de pau”.

Por outro lado, se nas mesmas condições esse orador disser “madi morum najá seimos anoperí atorfe”, é provável que não haja uma só pessoa em toda a audiência capaz de escrever ou de repetir o que foi dito.

O reconhecimento da palavra, e portanto a inteligibilidade, pode ser comparada a um caso

de investigação policial. Podemos ou não deduzir toda a trama a partir de algumas pistas.

Realmente, não é imperativo que tenhamos rigorosamente sempre todas as pistas muito claras para chegar à resposta final. Tudo depende de que pistas nos chegam e de quais são perdidas, da importância individual de cada pista recebida para a interpretação do conjunto, de sua ordem de recebimento e de muitos outros fatores.

Receber poucas pistas geralmente leva qualquer ouvinte a interpretar a mensagem de forma inexata. Mas deixar de receber umas poucas pistas geralmente não atrapalha o entendimento integral e correto das mensagens. Tal raciocínio implica em que o grau de inteligibilidade pode ser facilmente relacionado com o grau de perda de informações. O que, veremos adiante, é um aspecto de vital importância na fase de medição objetiva da inteligibilidade.

Em geral, é preciso haver considerável perda de informações para que a inteligibilidade fique totalmente prejudicada. Por outro lado, há registros de perdas significativas de informações, inclusive de informações chave, com degradação relativamente pequena da inteligibilidade. O que se explica porque, na maioria das vezes, a comunicação vocal é feita com muita redundância.

Esses fatos nos levam a pensar em como podem ser complexas as combinações de perdas potenciais de elementos e componentes de informação, e como essas perdas podem estar relacionadas entre si. Por sinal, este é exatamente o fator que mais dificulta prever a inteligibilidade que um sistema ainda não instalado apresentará.

Sabemos que nenhum aspecto isolado da fala é, de per si, essencial para a qualidade da percepção auditiva. Mas o reconhecimento da palavra, e por via de consequências, a inteligibilidade, são muito dependentes de inúmeros fatores, a exemplo de como o orador articula os fonemas, de sua velocidade de fala, de seu timbre de voz, de sua potência vocal, e assim por diante.

Ao reconhecer palavras, o cérebro humano desenvolve um trabalho completamente diferente do que faz quando reconhece os demais sinais acústicos.

O que significa que os mecanismos que utilizamos para avaliar sons musicais e suas propriedades, como intensidade, duração, taxas de variações, distribuição espectral, conteúdo temporal, e outros predicados, não são os mesmos que utilizamos para perceber e interpretar as palavras.

É sempre mais difícil distinguirmos uma consoante de outra, como um “p” de um “b”, do que uma vogal de outra, como um “a” de um “i”. Isso tanto acontece isoladamente, quanto no meio de palavras e sentenças.

Imagine que as palavras nos chegam umas após outras, com grande velocidade, apenas com pausas eventuais. Esse fluxo de informações é caracterizado por grandes variações alofônicas,

de velocidade, de ritmo, de acentuação, de ênfase, de entonação, de ressonância vocal, de frequência, e assim por diante.

Como reconhecer todo esse material complexo?

Com efeito, as palavras também nos provocam estímulos auditivos extremamente complexos.

Mas a palavra chave aqui é a redundância. Todos os idiomas estão repletos dela. Nosso sistema auditivo é muito ajudado por essas redundâncias, e os músculos que usamos para falar e ouvir dependem disso.

Por exemplo, mudanças alofônicas que decorrem de alterações da fala de uma consoante para outra, nos fornecem pistas que definem um contexto mais amplo. E partindo dele, passamos a esperar o que vai ser dito a seguir.

Os idiomas também são repletos de padrões. Diante de um contexto, dada a ordem da palavra, e sua terminação, em muitos casos podemos prever a próxima palavra.

Exemplificando.

Você encontra um amigo logo cedo. Ele se dirige a você dizendo “bom dia” de forma enfática. Nessa circunstância, a palavra **dia** já pode ser esperada imediatamente após a articulação da palavra **bom**, ou mesmo antes disso.

Esse mecanismo faz com que nossos cérebros automaticamente eliminem a maioria das alternativas possíveis de sequência, restringindo a análise que fazemos em tempo real a termos bem mais simples do que já se julgou no passado. O que muitas vezes ocorre antes mesmo que as próximas palavras sejam articuladas.

As escolas tradicionais e as modernas ensinam que o processo de nossa percepção de palavras inicia nos ouvidos. E a maior parte das autoridades no assunto entende que é assim mesmo.

Contudo, cientistas que ainda estavam realizando pesquisas enquanto eu escrevia estas linhas, estão informando coisas diferentes.

E sustentam que os resultados até agora obtidos em suas investigações não deixam margem para dúvidas.

A ideia é que as ondas sonoras atingem antes os ossos de nossas cabeças, para só depois chegar às nossas orelhas. Se você pensar nos sons que nos atingem pela frente, e nos que nos chegam por trás, essa informação parecerá muito lógica.

Uma vez que as ondas sonoras encontram os ossos do crânio, as vibrações são transmitidas até nossos ouvidos internos por meios sólidos, os ossos, e líquidos, o sangue.

Já vimos que a velocidade do som é muito maior nos sólidos e nos líquidos do que no ar. Assim, nossos ouvidos internos recebem via óssea, e com antecipação de fração de segundo,

uma amostra do que ouviremos via ouvido. Embora o nível de energia dessa amostra seja reduzido, o tempo de antecipação é suficiente para que todo o mecanismo cerebral se prepare para receber os sons via ouvidos.

Essa preparação do cérebro assemelha-se à preparação de nosso trato vocal para articular palavras.

A julgar por essas informações, a audição das palavras é apenas parte do processo. E a parte mais importante fica reservada para o cérebro, que organiza e gerência a atividade completa.

Há três ingredientes principais em todo esse processo de decodificação das mensagens. Que são a constância, a figura-terra, e o fechamento.

constância

Constância é nossa habilidade de reconhecer fonemas, mesmo diante de suas inúmeras variáveis acústicas e de contexto.

Os padrões acústicos do idioma são nossas fontes preliminares de informação, possibilitando que formemos uma memória léxica, sistematicamente usada no processo de reconhecimento da palavra.

É claro que todas as informações semânticas e sintáticas embutidas nas frases também são importantes fontes de informação.

figura-terra

Figura-terra é o que nos faz separar e processar os sinais dos ruídos. Melhor seria dizer, o conteúdo informático real do que não nos tem serventia para a percepção.

Por exemplo, é nossa estratégia figura-terra que nos leva a ignorar sibilâncias integrantes de uma mensagem falada, para que possamos dar mais atenção à mensagem propriamente dita.

Quando a relação sinal/ruído do material que recebemos já é naturalmente elevada, submetemos nosso cérebro a menos trabalho.

Nossa saúde, nosso estado momentâneo de atenção, e principalmente, nosso interesse na mensagem, também estão diretamente relacionados com a percepção da palavra e com o melhor aproveitamento da figura-terra.

fechamento

Fechamento é a habilidade perceptiva que nos permite preencher partes que faltam, e que se devem a informações não recebidas por quaisquer razões.

Assim, podemos dizer que o fechamento se baseia muito na redundância.

Nenhum de nós pode perceber absolutamente todos os fonemas que são articulados numa conversa. Mesmo numa bem curtinha. Ainda assim, em geral não perdemos o sentido exato e completo das mensagens.

Um dos grandes catalisadores do fechamento é o conhecimento inerente que temos do idioma e de seus padrões. E o que o prejudica é a fadiga auditiva.

Estudos muito sérios mostram que se recebermos menos da metade dos códigos acústicos fonéticos de uma mensagem de complexidade mediana já temos condições de entender as palavras no contexto normal das sentenças.

Também é verdade que precisamos de menos informações para identificar e entender palavras como partes de sentenças, do que para identificá-las isoladamente.

Falamos há pouco da terminação das palavras. Esses mesmos estudos indicam que os segmentos iniciais das palavras são ainda mais importantes para sua identificação do que os segmentos finais.

O que reflete uma clara mudança no processo de informação, do acústico fonético para o linguístico.

função psicometria A psicometria, ou função desempenho-intensidade, é uma função matemática especial que relaciona inteligibilidade com nível de apresentação.

Em sua forma mais simples, ela é uma representação gráfica que relaciona um estado psicológico, o reconhecimento auditivo da palavra, com um estado físico, os decibels.

Esse gráfico mostra que a inteligibilidade aumenta monotonicamente com o aumento da audibilidade. A curva em si varia muito como decorrência de diversos fatores, a exemplo da gama dinâmica.

Se tomarmos esse fator como exemplo, veremos que a curva gráfica assume o formato de um S. Relativamente linear em sua parte central, e com extremidades muito alongadas.

A curva psicométrica mostra que a inteligibilidade varia muito de acordo com o material que é ouvido.

Para fonemas e sílabas simples, a faixa vai de 30 a 40 dB.

Palavras monossilábicas conduzem a inteligibilidade variando entre 18 e 22 dB. E com sentenças complexas a figura fica entre 8 e 10 dB.

A função psicométrica também investiga a diferença de inteligibilidade provocada pelo uso de palavras mais comuns, e das menos utilizadas.

A diferença é de aproximadamente 20%.

Mas é importante ressaltar que grau de utilização de uma palavra por alguém e a familiaridade que um grupo de pessoas tem dela não são a mesma coisa.

Além disso, para efeito de função psicométrica, é costume dividir as palavras em dois grupos. As densas, e as esparsas.

No primeiro grupo ficam as palavras que são foneticamente similares a muitas outras no idioma. Do segundo, fazem parte as palavras que são foneticamente únicas, ou que soam como muito poucas no idioma.

A figura 6.49 nos mostra o percentual de palavras densas e esparsas corretamente entendidas por um painel de indivíduos, como função da relação sinal/ruído.

A seguir, usaremos muito o termo inteligibilidade, associando-o aos sistemas de som. Mas não devemos nos esquecer que inteligibilidade é acima de tudo um fenômeno subjetivo.

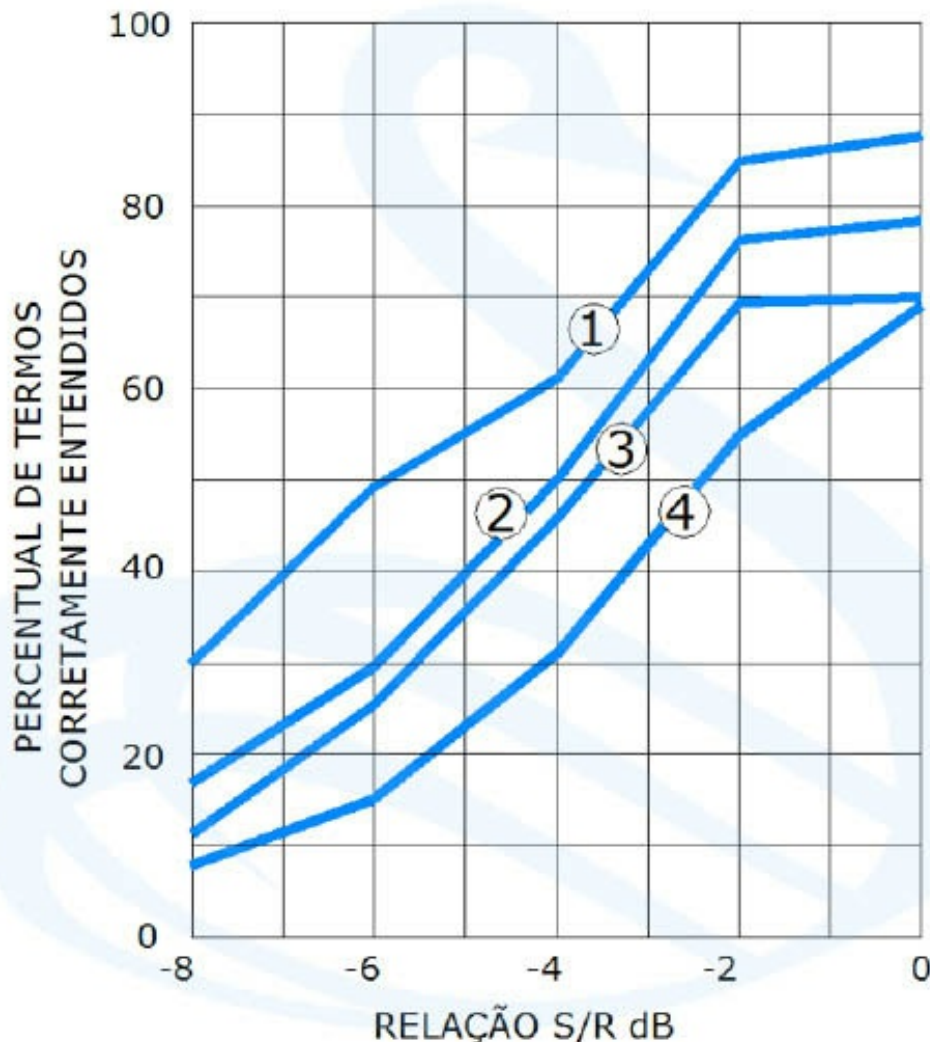


figura 6.49 percentual de palavras densas e esparsas corretamente entendidas, como função da relação sinal/ruído 1. Palavras esparsas, utilização frequente 2. Palavras densas, utilização frequente 3.

Palavras esparsas, utilização eventual 4. Palavras densas, utilização eventual acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 6.4.2.6 A Importância da Inteligibilidade Apresentar adequada inteligibilidade é um dos requisitos fundamentais para que um sistema de som possa ser considerado bem projetado. Ou seja, ele não deve degradar a inteligibilidade subjetiva a tal ponto que as mensagens sejam de baixa inteligibilidade.

Os sistemas de algumas grandes igrejas apresentam inteligibilidade tão baixa que mal é

possível distinguir o idioma utilizado pelo pastor.

Lembro-me de uma das lutas de box de nosso lutador Maguila, realizada no ginásio do E.C. Corinthians Paulista, em São Paulo. Lá estava eu, com um grupo de amigos. Não conseguimos entender uma palavra sequer, tanto no início de cada luta, quando os lutadores são anunciados, quanto durante os intervalos de cada luta, ocasião em que se informam os assaltos a seguir.

Nessas circunstâncias, mesmo que os sistemas de som preencham todos os demais requisitos, sem inteligibilidade ainda serão tecnicamente pobres.

Torna-se evidente que, ao elaborar um projeto de sistema de sonorização, qualquer projetista de áudio deve necessariamente levar em conta a inteligibilidade da palavra.

Caso contrário, os resultados obtidos poderão ser quaisquer.

Fora de previsões. Inclusive, catastróficos. Por isso, o engenheiro de áudio precisa saber como prever de modo consistente a inteligibilidade dos sons ainda na etapa de projeto, e como aferi-la com acuidade, uma vez implantado o sistema.

Evidentemente, ele também precisa conhecer todos os parâmetros relacionados com a inteligibilidade, e compreender bem e em profundidade de que modo cada um desses parâmetros a afeta e como interagem entre si.

Já ouvi algumas vezes que a inteligibilidade não é muito importante num ou noutro caso, porque os sistemas em questão eram dedicados exclusivamente ao reforço de música. Jamais pense dessa maneira, o que é um erro. Até porque os sistemas caracterizados por baixos índices de inteligibilidade usualmente apresentam qualidade musical sônica inferior.

Lendo o item a seguir você saberá porquê.

6.4.2.7 Como Prever a Inteligibilidade Ainda na Fase de Projeto Até meados da década dos anos 70 não era possível prever a inteligibilidade ainda na fase de projeto, ao menos com grau de confiabilidade aceitável.

Após anos a fio dedicados a pesquisa sobre inteligibilidade, V. M. A. Peutz veio apresentar à comunidade de engenheiros de áudio, em 1971, através da Audio Engineering Society, sua equação para cálculo de inteligibilidade.

A proposta de Peutz foi formulada a partir de bases muito sólidas, pois reproduzia matematicamente o resultado de suas pesquisas seríssimas. Que foram realizadas em salas de tamanhos diferentes, com acústicas distintas, e onde se fazia variar a distância entre os painéis de ouvintes e as pessoas que dirigiam as palavras. Os vocábulos utilizados eram sempre foneticamente balanceados.

Posteriormente, a equação proposta por Peutz foi ligeiramente adaptada, mas tão pouco que a expressão a seguir, hoje utilizada universalmente para cálculo de inteligibilidade dos sons, é

atribuída a esse excepcional pesquisador holandês.

$$AL_{\text{CONS}}\% = \frac{200.(D_2)^2.(RT_{60})^2.N}{V.Q.M} \quad (6.5)$$

onde

• $AL_{CONS}\%$ é denominado Índice Percentual de Perda de Articulação Consonantal, • D_2 é distância em metros entre o falante e o ouvinte mais afastado dele, • RT_{60} é o tempo de reverberação em segundos, • N é a relação entre a potência produzida por todos os falantes da sala, e a potência produzida pelo falante que radia sons diretos para o ouvinte, • V é o volume interno do ambiente em metros cúbicos, • Q é a relação de diretividade do falante, e • M é o operador multiplicador de D_C

Isto já nos permite calcular o $AL_{CONS}\%$ de qualquer ambiente fechado. Mas é pouco. Precisamos saber interpretar o resultado.

Inicialmente, devemos saber que quanto mais baixo for o valor do índice, mais elevada será a inteligibilidade.

Vejamos o que disse mestre Peutz: “ Se o $AL_{CONS}\%$ é inferior a 10%, a inteligibilidade é muito boa. Se o índice está entre 10% e 15%, a inteligibilidade é boa, mas será insuficiente se a mensagem for muito difícil e o orador e/ou ouvinte não forem suficientemente bons. $AL_{CONS}\%$ acima de 15% representa inteligibilidade suficiente apenas para bons ouvintes e bons oradores, com mensagens simples”.

Os engenheiros de áudio de todo o mundo passaram a calcular $AL_{CONS}\%$ para inúmeros recintos com sistemas até então instalados, e a comparar seus números com o que Peutz afirmara.

Chegaram à conclusão de que não havia reparos a fazer. Então, 15% passou a ser considerado o limite máximo para $AL_{CONS}\%$ em todo e qualquer projeto, número que constitui a base de qualquer dimensionamento eletroacústico moderno.

6.4.2.8 Algumas Limitações Mas isso ainda não é tudo.

Para que os cálculos de $AL_{CONS}\%$ sejam válidos, é preciso que a relação sinal/ruído (S/R) não seja inferior a 25,0 dB. Isto é, o nível de pressão sonora do programa na posição do ouvinte deve estar 25,0 dB acima do nível de ruído ambiente.

A seguir, é preciso considerar que o cálculo feito a partir da equação proposta por Peutz só é válido até um valor limite para D_2 . Denominado distância limite (D_L).

A distância limite pode ser calculada a partir da distância crítica.

$$D_L = 3,16D_C \quad (6.6)$$

Para valores de D_2 superiores a D_L , prevalece a expressão abaixo para o cálculo da inteligibilidade

$$AL_{\text{CONS}} \% = 9.RT_{60} \quad (6.7)$$

Se substituirmos o termo $AL_{\text{CONS}} \%$ da expressão de Peutz por 15%, podemos estabelecer parâmetros máximos e mínimos com os quais ainda se pode obter $AL_{\text{CONS}} \% = 15\%$, como segue:

$$D_2 \text{ max} = \sqrt{\frac{V.Q.M}{13,33.(RT_{60})^2.N}} \quad (6.8)$$

$$Q_{\text{min}} = \frac{13,33.(D_2)^2.(RT_{60})^2.N}{V.M} \quad (6.9)$$

$$V_{\text{min}} = \frac{13,33.(D_2)^2.(RT_{60})^2.N}{Q.M} \quad (6.10)$$

$$RT_{60} \text{ max} = \sqrt{\frac{V.Q.M}{13,33.(D_2)^2.N}} \quad (6.11)$$

Vamos nos exercitar com o caso de nosso ginásio exemplo. Tínhamos:

- $V = 12.000\text{m}^3$
- $S = 4.000\text{m}^2$
- $\bar{\alpha} = 0,24$
- $RT_{60} = 2,0$ segundos
- $R = 1.263 \text{ m}^2$

Pensemos no orador que produzia nível de pressão sonora igual a 70 L_p a 1 metro de sua boca. A relação de diretividade típica de um ser humano falando é da ordem de 2,5 na região de 1 a 2 kHz.

Calculemos então a máxima distância que o orador pode atingir dentro do ginásio, ainda com $AL_{\text{CONS}} \% = 15\%$. Para tanto, vamos admitir uma relação $S/R = 25,0 \text{ dB}$ e $M = 1$.

$$D_2 \text{ max} = \sqrt{\frac{12.000 \times 2,5}{13,33 \times 4}} = 23,7 \text{ metros}$$

Vamos conferir se essa distância não é superior a D_L

$$D_L = 3,16 \times 0,141 \sqrt{2,5 \times 4.000 \times 0,24} = 21,8 \text{ metro}$$

Como excede, só podemos assegurar que $AL_{CONS} \%$ igual a 15% (ou melhor) até 21,8 metros. Além de D_L , o $AL_{CONS} \%$ será da ordem de

$$9 \times RT_{60} = 18\%$$

Se o projetista tiver que pensar num sistema de som para esse ginásio, capaz de atingir $D_2 = 40$ metros, com $AL_{CONS} \% = 15\%$, equipado com um único falante, estará em condições de estabelecer a mínima relação de diretividade necessária.

$$Q_{min} = \frac{13,33.(40)^2.(2)^2}{12.000} = 7,11$$

Portanto, se for possível utilizar um falante com Q igual ou superior a 7,11, que proporcione cobertura adequada à plateia do ginásio, pode-se ter certeza de que a 40,0 metros do projetor ainda teremos $AL_{CONS} \%$ igual ou inferior a 15%.

A acuidade da equação de Peutz, bem como a das que dela decorrem, é garantida por incontáveis provas havidas ao redor de todo o mundo.

É muito comum nos depararmos com situações na quais o decorador ou o arquiteto escolhem um determinado tipo de caixa acústica, cujo visual combina com o do interior do recinto decorado.

Digamos que para um destes casos, D_2 seja 50,0 metros, e a caixa acústica escolhida tenha $Q = 10$. Admitindo-se que a cobertura seja adequada e o volume interno seja 6.500 metros cúbicos, podemos usar a expressão 6.11 e calcular:

$$RT_{60max} = \sqrt{\frac{6.500 \times 10}{13,33 \times (50)^2}} = 1,4 \text{ segundos}$$

E podemos então informar ao decorador ou arquiteto que o RT_{60} não deverá ultrapassar 1,4 segundos.

Se $S_a = 747,50$, então podemos calcular

$$D_L = 3,16 \times 0,141 \sqrt{10 \times 747,50} = 38,5 \text{ metro}$$

e concluir que D_2 é superior a D_L .

Ainda assim, especificamente neste caso podemos assegurar que $AL_{CONS} \%$ será igual ou melhor que 15%, pois RT_{60} é inferior a 1,6 segundos.

Naturalmente, poderíamos usar a expressão (6.7) para calcular

$$AL_{CONS} \% = 9 \times 1,4 = 12,6\%$$

Mas também podemos ver isso graficamente.

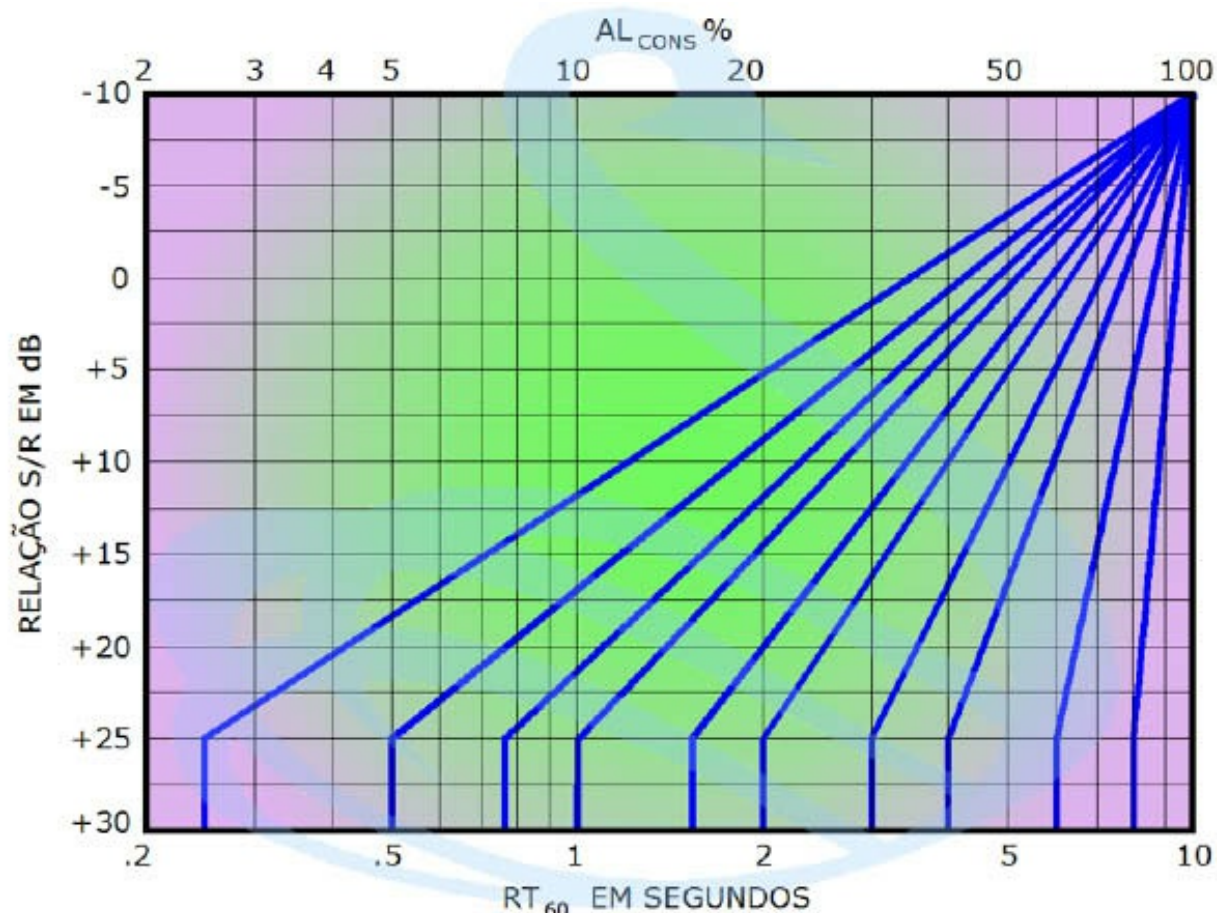


figura 6.50 efeito da relação S/R no AL_{CONS} % para $D_2 = D_L$

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.50 relaciona AL_{CONS} % com RT_{60} e com relação S/R, para $D_2 = D_L$.

Observe que se a relação S/R for igual a 25,0 dB, para quaisquer valores de RT_{60} iguais ou inferiores a 1,6 segundos, teremos AL_{CONS} % sempre igual ou inferior a 15%. A figura mostra que qualquer relação S/R superior a 25,0 dB não reduz o AL_{CONS} %.

Também fica claro porque não se pode trabalhar com relação S/R inferior a 25,0 dB, quando RT_{60} supera 1,6 segundos.

E o que acontece se, por exemplo, o recinto é caracterizado por $RT_{60} = 4,0$ segundos e relação S/R = 25,0 dB ? Teremos que nos conformar com AL_{CONS} % = 36% ? Felizmente não.

A figura 6.51 relaciona AL_{CONS} % com RT_{60} em função de D_L , já que o eixo horizontal é graduado em termos de D_L .

No caso do recinto antes mencionado, encontramos os 4,0 segundos no eixo vertical da direita, seguimos horizontalmente para a esquerda até encontrarmos a família de retas inclinadas.

Então descemos na direção das inclinações até a horizontal que passa por AL_{CONS} % = 15%. Nesse ponto descemos verticalmente até a escala graduada em D_L para lermos 0,64 D_L .

Como $D_L = 3,16 D_C$, segue que $0,64 D_L = 0,64 \times 3,16 D_C = 2 D_C$.

Essas contas nos mostram que para garantirmos AL_{CONS} % = 15% neste recinto, uma das

alternativas é limitar D_2 a $2 D_C$, ao invés de a $3,16 D_C$.

Às vezes, a redução de D_2 é possível, outras vezes não.

Em caso positivo, a solução é esta mesma. Quando não, temos a alternativa de controlar D_C .

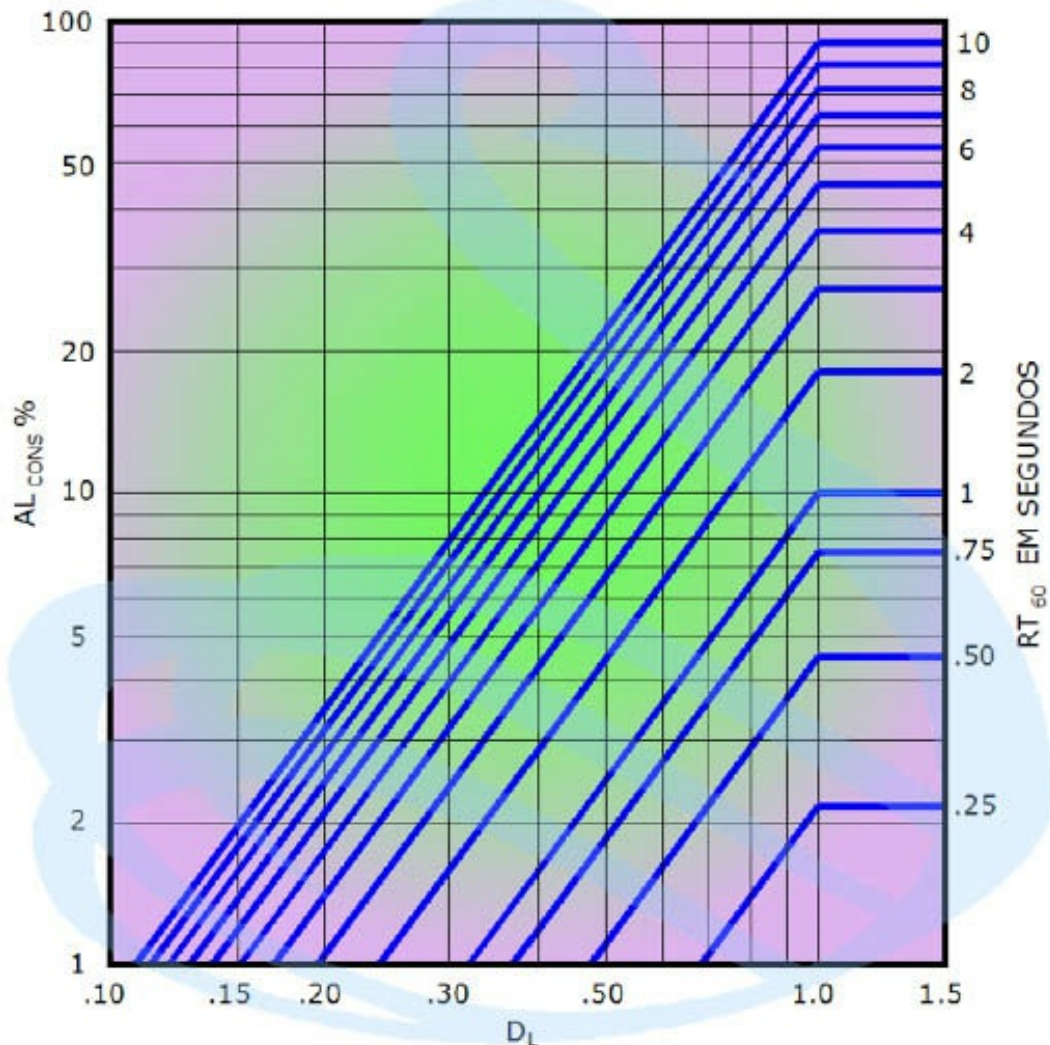


figura 6.51 $AL_{CONS} \%$ versus RT_{60} , para diferentes valores de D_2 , referidos a D_L
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Neste caso, controlar D_C significa aumentar sua distância.

Como $D_C = 0,141 \sqrt{Q.S\bar{a}}$, podemos escrever

$$D_C^2 = 0,0199 Q.S\bar{a} \quad (6.12)$$

Podemos isolar Q

$$Q = \frac{D_c^2}{0,0199 \times S_{\bar{a}}} \quad (6.13)$$

E também podemos isolar $S_{\bar{a}}$

$$S_{\bar{a}} = \frac{D_c^2}{0,0199 \times Q} \quad (6.14)$$

Então vemos que podemos aumentar D_c aumentando Q na seguinte proporção

$$Q = \frac{D_2^2}{(3,16)^2 \cdot (D_L \text{ mult})^2 \cdot 0,0199 \cdot S_{\bar{a}}} = \frac{D_2^2}{0,2 \cdot (D_L \text{ mult})^2 \cdot S_{\bar{a}}} \quad (6.15)$$

ou aumentando $S_{\bar{a}}$ na seguinte proporção

$$S_{\bar{a}} = \frac{D_2^2}{(3,16)^2 \cdot (D_L \text{ mult})^2 \cdot 0,0199 \cdot Q} = \frac{D_2^2}{0,2 \cdot (D_L \text{ mult})^2 \cdot Q} \quad (6.16)$$

Nas expressões (6.15) e (6.16), o termo $D_L \text{ mult}$ é o número obtido no eixo graduado em D_L da figura 6.51.

Muitas vezes ocorre que o aumento de Q , por si só, não é viável, ou prejudica a cobertura angular. O mesmo ocorre com relação ao aumento de $S_{\bar{a}}$ sozinho, que para incrementos significativos pode elevar o investimento em materiais acusticamente absorventes a cifras espantosas.

Frequentemente, a solução está no aumento de D_c via aumentos combinados de Q e de $S_{\bar{a}}$. E há casos em que se combina os aumentos combinados de Q e $S_{\bar{a}}$ com a redução de D_2 .

6.4.2.9 Ajustando Parâmetros Vamos discutir uma a uma as possíveis causas de um elevado AL_{CONS} %. Peutz nos leva a falar em tempo de reverberação, relação S/R e distância entre falante e ouvinte.

Idealmente, o RT_{60} deve ser calculado para todas as bandas de frequência de interesse, como vimos no capítulo 3. Se isso não for possível, o mínimo admissível seria trabalhar com duas bandas de oitava, centradas em 500 Hz e 2 kHz.

Quando falamos em relação S/R, muitos pensam que o nível de ruído ambiente não é muito importante, pois tudo o que se tem a fazer é aumentar o nível do sinal para que se obtenha a relação S/R adequada.

Não é raro constatar que atitudes simplistas como esta costumam por a perder uma sequência de esforços que, se fosse trabalhada com um pouquinho mais de seriedade, poderia ser bem sucedida.

A redução da distância D_2 é uma cura certa para reduzir AL_{CONS} %. Mas Frequentemente não é de fácil implementação, e deve ser combinada ou substituída pelo controle de D_C .

Além desses parâmetros inteiramente relacionados com AL_{CONS} %, previsíveis na etapa de projeto, há outros não tão facilmente previsíveis ou mesmo imprevisíveis, usualmente devidos à falta de análise mais cuidadosa. São eles • falantes desalinhados entre si • reflexões seguindo os sinais diretos com atraso de tempo de até 3 milissegundos • reflexões com atraso de tempo de 50 milissegundos ou mais • nível de energia igual ou superior ao da energia nas imediações Falantes desalinhados entre si são tão comuns quanto os próprios falantes. Particularmente quando são usados diferentes tipos deles, como woofers, cornetas e tweeter.

Consequentemente, esta é uma das principais causas de inteligibilidade reduzida. Qualquer tipo de desalinhamento provoca lóbulos de radiação indesejáveis, alterando os padrões e controles de diretividade, culminando por promover o aumento “não previsto” do campo reverberante. Ou seja, há um aumento virtual do RT_{60} .

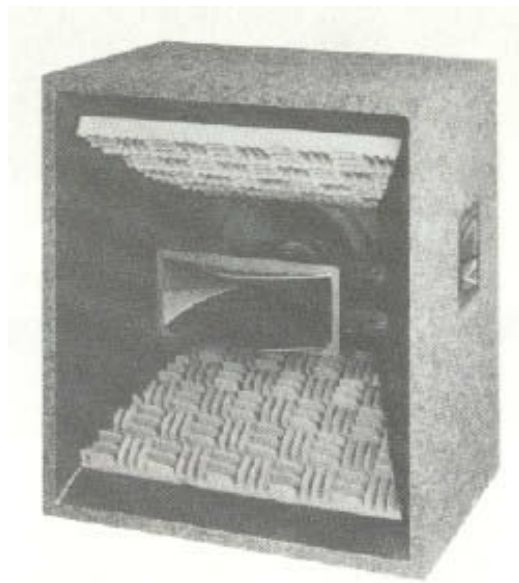


figura 6.52 caixa acústica cornetada, com sonex aplicado nas superfícies internas da corneta para atenuação dos sinais refletidos cortesia JBL Professional As reflexões com curto atraso de tempo não só elevam AL_{CONS} %, como também degradam a resposta de frequências. O analisador TEF é um instrumento poderoso para detectá-las e corrigi-las.

Na ausência dele, o ideal é aplicar materiais acusticamente absorsores nas imediações do falantes, e mesmo em sua parte frontal, medida que pode evitar ou reduzir a inconveniência.

A figura 6.52 exhibe claramente o esforço feito nesse sentido.

As reflexões com atraso em demasia, e de elevado nível de energia, podem aniquilar a inteligibilidade, mas geralmente só afetam pequenas áreas.

Para corrigi-las, usualmente é suficiente relocar ou reorientar os falantes. Raramente é

preciso tratar acusticamente o recinto para resolver o problema.

Quando esse for o caso, o analisador TEF é novamente a ferramenta a ser utilizada para o diagnóstico. Alternativamente, usa-se um painel acusticamente muito absorvente, de cerca de 1,5m x 1,5m nas imediações da área com baixa inteligibilidade.

Com o ouvinte posicionado, e o sistema ligado, move-se o painel em torno e por cima do ouvinte, procurando-se interromper o fluxo das reflexões. Uma vez detectada sua direção, basta amortecer as reflexões na própria superfície de onde elas são provenientes.

Veremos adiante como combater esse problema, com solução eletroacústica.

Devemos ter sempre em mente que a expressão proposta por Peutz considera apenas os próprios parâmetros dos quais é formada. Logo, é pressuposto que o sistema eletroacústico em si está ou será corretamente projetado e instalado.

Como nem sempre isso acontece, para não dizer que é mesmo algo muito raro, convém lembrar que além dos aspectos até aqui analisados, há muitos outros que também degradam a inteligibilidade. Entre estes estão • desalinhamento elétrico dos componentes eletrônicos do sistema • equalização inadequada provocando distorções antes das etapas de amplificação • distorções nas etapas de amplificação por avaliação indevida do nível de ruído ambiente ou por falta de observação de margem adequada para picos e transientes • oscilações e ruídos devidos a aterramento não apropriado ou sua ausência • outros

Vamos discutir agora alguns outros aspectos psicofísicos ligados à inteligibilidade.

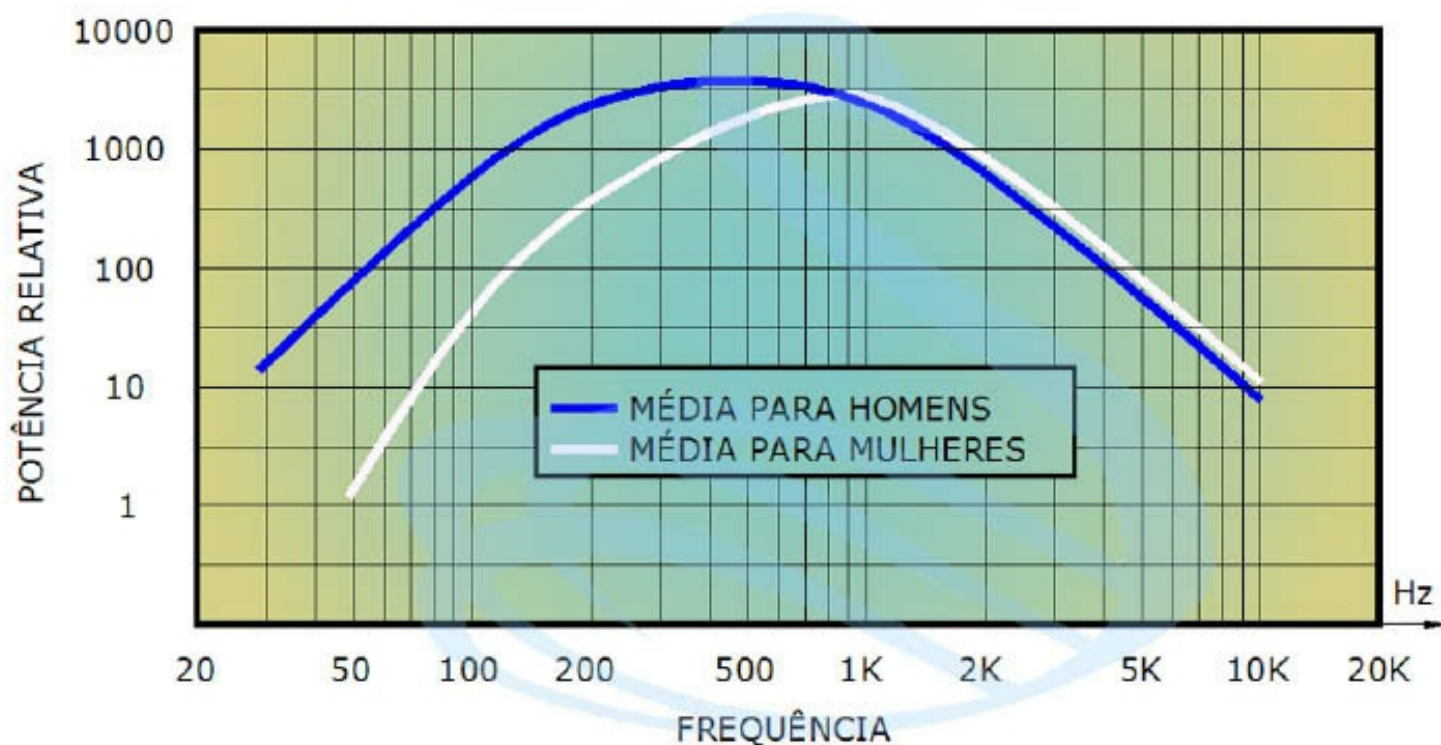


figura 6.53 distribuição da energia de vozes humanas masculinas e femininas pelo espectro de áudio
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.53 mostra as curvas médias de energia relativa em função da frequência para vozes humanas masculinas e femininas. A partir delas o leitor pode avaliar melhor em que bandas de frequências está mais concentrada a energia.

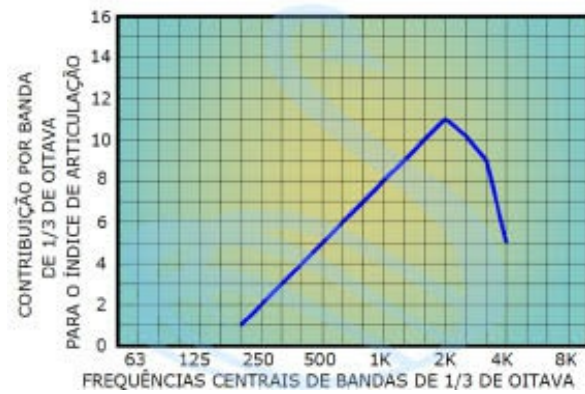


figura 6.54 pesos relativos das bandas de frequência para a formação do índice de articulação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Conhecendo essas variações típicas, é mais fácil prognosticar como serão amplificados os sinais, que idealmente conservarão essas mesmas proporções.

A figura 6.54 mostra graficamente os pesos relativos das bandas de frequências de 1/3 de oitava contribuindo para a determinação do índice global de articulação. E agora fica claro porque a banda de frequências centrada em 2 kHz é tão importante para a inteligibilidade.

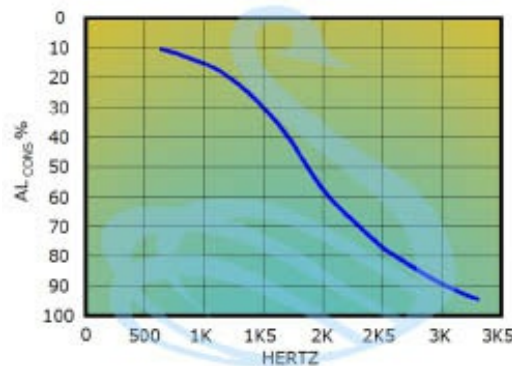


figura 6.55 comportamento do AL_{CONS} % com o corte de baixas frequências na resposta de frequência acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

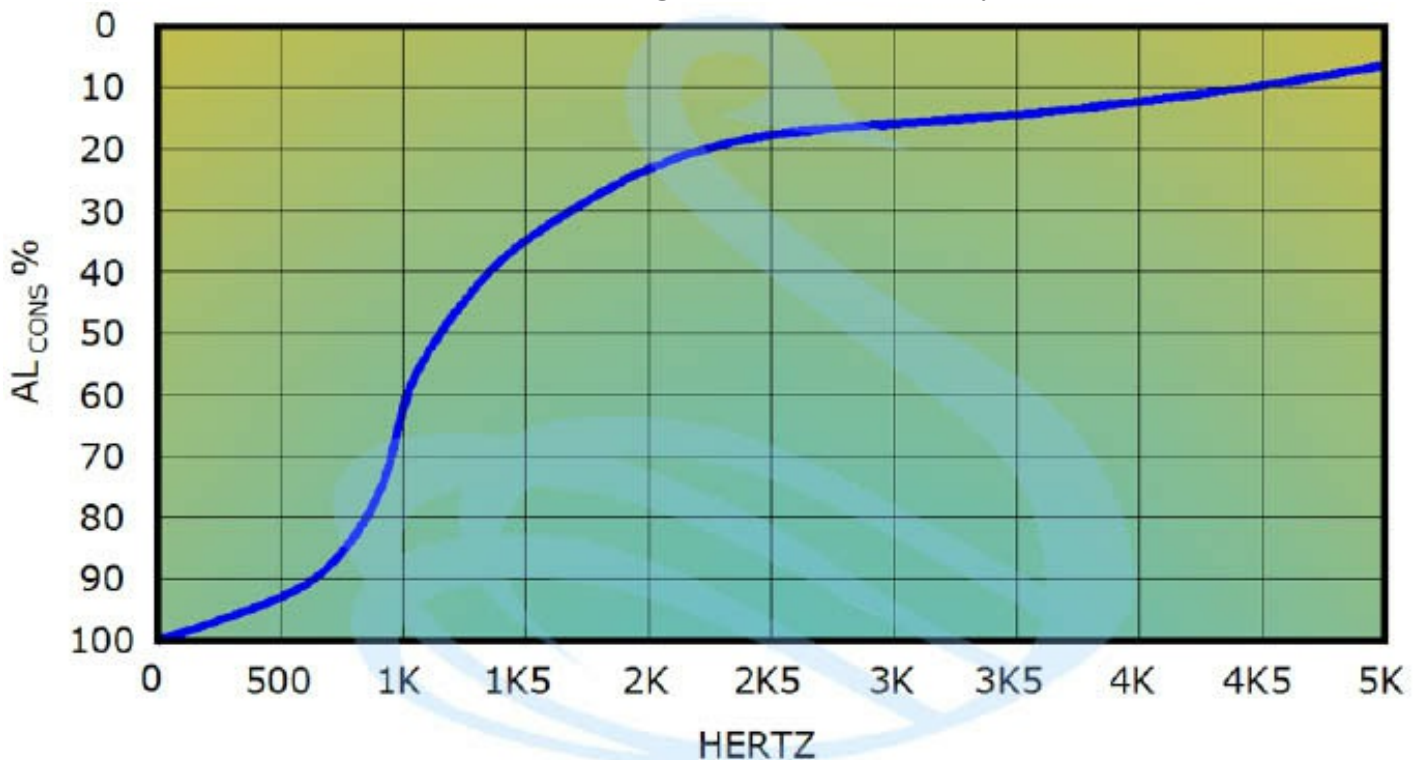


figura 6.56 comportamento do AL_{CONS} % com o corte de altas frequências na resposta de frequência acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 6.55 e 6.56 mostram a redução da inteligibilidade em função das limitações dos dois extremos da resposta de frequência.

Esses dados apenas comprovam o que a maioria dos consultores de áudio em todo o mundo

não se cansa de repetir. Que obter resposta de frequência linear é muito mais importante do que trabalhar para que ela seja muito ampla, sem o predicado linearidade.

6.4.2.10 Avaliação da Inteligibilidade da Palavra Até aqui vimos o que é inteligibilidade da palavra, e como é possível estimá-la ainda na etapa de projeto de um sistema de som.

Posteriormente, com o sistema já instalado, é preciso avaliar os elementos que determinam seu padrão de desempenho. Entre eles está a inteligibilidade da palavra. Ao fazermos esta medição, também teremos a chance de verificar se a inteligibilidade real está aproximadamente dentro do que previmos.

Em caso positivo, teremos certeza. Mas se a figura real se mostrar muito pior do que a figura estimada, poderá ser necessário fazer correções.

Em geral, as medições indicam figuras muito próximas das estimadas. Contudo, isso nem sempre é verdadeiro.

A necessidade de medir a inteligibilidade de sistemas de som não é nova. Assim é que as primeiras técnicas nesse sentido, já desenvolvidas com fortes bases científicas, datam de 1930.

Entretanto, todas essas técnicas pioneiras, que ainda são muito usadas na prática, estão essencialmente baseadas em critérios subjetivos. Por isso mesmo, são chamadas técnicas de avaliação subjetiva de inteligibilidade, ou técnicas de avaliação direta.

Em síntese, mensagens especialmente formatadas são lidas por um orador, que utiliza o microfone e o restante do sistema de som que se quer testar, enquanto um grupo de pessoas, também chamado painel, faz as vezes de uma audiência típica.

Enquanto os panelistas vão ouvindo as mensagens, também vão escrevendo o que entendem. O desenvolvimento desses testes só pode ocorrer sob rigorosas condições de controle. O planejamento prévio muito intenso é uma condição essencial, sem a qual os resultados geralmente não são válidos.

O material escrito pelos panelistas é então submetido a análises e processamento estatístico, do que resultam índices. Em última análise, tais índices são a quantificação do grau de inteligibilidade.

Todas as técnicas subjetivas apresentavam várias dificuldades intrínsecas, cada uma delas de envergadura considerável.

A primeira dificuldade é efetuar o planejamento.

A segunda é selecionar adequadamente os panelistas. Embora esta possa parecer uma mera atividade trivial, é preciso lembrar que a seleção deve estar sempre orientada para que a acuidade auditiva do grupo reflita as condições típicas de uma audiência real, usualmente bastante heterogênea.

A terceira dificuldade é o longo tempo necessário para desenvolver o procedimento completo. Que, dependendo de como é cada local, pode levar semanas, e até mesmo meses. E isso definitivamente impõe um custo operacional bastante elevado.

Outra dificuldade é que os testes devem ser conduzidos por profissional altamente especializado e experiente nesse tipo de avaliação.

A elevada potencialidade da combinação desses problemas levou cientistas da acústica e do áudio a pensar no desenvolvimento de alternativas, que são as técnicas eletroacústicas. Que no mínimo devem ser capazes de produzir resultados bem representativos da inteligibilidade dos sistemas.

Técnicas eletroacústicas são aquelas em que se emprega apenas eletrônica e medições acústicas, seguidas de análises e avaliações. E não qualquer forma de interpretação auditiva subjetiva. Assim sendo, as técnicas eletroacústicas também são chamadas de técnicas de avaliação objetiva de inteligibilidade, ou técnicas de avaliação indireta.

O maior ou menor sucesso de quaisquer dessas técnicas sempre esteve fortemente vinculado aos predicados simplicidade, precisão e confiabilidade.

De sorte a conceber, avaliar e propor uma técnica de avaliação indireta, qualquer cientista deve saber o suficiente sobre como falamos, como ouvimos as palavras e sentenças, e de que modo os sistemas de som e as características acústicas ambientais afetam o que ouvimos.

Isso pode estar parecendo algo complexo. Mas felizmente, na prática, as primeiras avaliações feitas com o objetivo de testar métodos eletroacústicos foram muito encorajadoras.

Qualquer método eletroacústico de avaliação de inteligibilidade deve levar em conta os diversos fatores que afetam a inteligibilidade, e todas suas possíveis combinações. Isto é, não é conveniente tratar cada fator individualmente, como se eles fossem parâmetros isolados.

métodos de avaliação direta O planejamento das técnicas de avaliação direta a que me referi anteriormente incluem a preparação muito criteriosa dos textos contendo as palavras teste.

Os textos são elaborados a partir de rimas modificadas (técnica MRT, para Modified Rhyming Tests), de palavras fonemicamente, ou foneticamente balanceadas (técnica PB, para Phonemically Balanced Words), ou de Logatoms, ou ainda, de sons mono ou polissilábicos, sem quaisquer significados.

Independentemente de como cada particular texto é elaborado, as coisas que mais influenciam e provocam variações nas interpretações subjetivas são o tipo de material utilizado nas falas, e que amplitude de palavras os ouvintes esperam ouvir.

Quanto ao tamanho, os textos mais sérios variam desde 256 fonemas balanceados a mais de mil rimas modificadas.

A técnica MRT é bem mais simples do que as demais, e também, a que possibilita trabalhar com os menores painéis.

Os testes devem ser sempre realizados no primeiro idioma dos panelistas. Além disso, cuidados especiais devem ser tomados para que os resultados possam ser validados. A exemplo de se evitar a fadiga auditiva dos panelistas.

Com relação ao material utilizado nas falas, as palavras podem ser apresentadas numa grande variedade de alternativas. Mas o mais comum é apresentá-las em forma de múltipla escolha, na qual as palavras teste ficam embutidas em sentenças de “enchimento”, selecionadas a partir de um grupo de opções.

A utilização de sentenças de “enchimento” traz uma série de vantagens.

A primeira e mais evidente é a formação prévia de campos reverberantes, o que produz uma situação de extraordinária semelhança com os casos reais.

A segunda, que as estruturas das sentenças oferecem aos panelistas um meio muito natural de receber as palavras, com o benefício secundário de se poder medir e controlar o nível de esforço interpretativo.

A terceira, que a sequência de sentenças contendo as palavras teste possibilita a operação normal dos processadores de sinal do sistema eletroacústico.

O sucesso de qualquer técnica de avaliação direta depende criticamente do treinamento do locutor e dos panelistas. Por ser essencial, esse detalhe não pode ser menosprezado. Dependendo do texto e do local a ser avaliado, o treinamento pode levar de apenas cinco minutos a até mais de doze horas.

E é exatamente nesse momento que as vantagens dos métodos eletroacústicos, que dispensam orador e painéis, começam a se tornar mais claras.

métodos de avaliação indireta Os métodos de avaliação indireta de inteligibilidade são feitos a partir de um sinal de teste, que é transmitido até o ponto de medição. Aí tem lugar a recepção e a avaliação do sinal recebido.

A grande maioria destes métodos foi desenvolvida levando-se em conta os efeitos que os ruídos de mascaramento e a reverberação têm sobre a inteligibilidade.

Índice de Articulação AI (Articulation Index) Numa grande quantidade de sistemas, os ruídos são o principal fator de degradação da qualidade da inteligibilidade. E o AI foi uma das primeiras técnicas desenvolvidas para aferir a inteligibilidade em ambientes sujeitos a elevados níveis de ruído.

Tal desenvolvimento está baseado nos trabalhos realizados e publicados por French e Steinberg em 1947. A partir disso, Kryter, Beranek e muitos outros aperfeiçoaram a técnica, do que resultou o padrão ANSI - S 3.5 1969.

O conceito chave do índice de articulação AI é que a inteligibilidade é proporcional à diferença média em decibels entre o nível médio do ruído de mascaramento, e o nível médio de sinal anotado para períodos relativamente longos, mais 12 dB correspondentes ao sinal de voz, empregando-se bandas de oitava ou de 1/3 de oitava.

As correspondentes relações sinal/ruído são então ponderadas e combinadas para formar o índice de articulação.

Matematicamente, os índices variam de 0 a 1.

Figuras de 0,3, ou menores, são consideradas insatisfatórias. Índices de 0,3 a 0,5 são considerados apenas aceitáveis. A faixa de 0,5 a 0,7 indica boa inteligibilidade. E valores acima de 0,7 apontam para inteligibilidade que vai de muito boa a excelente.

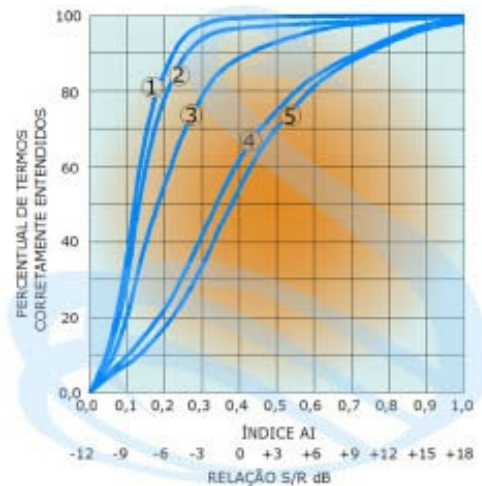


figura 6.57 relação entre Índice de Articulação AI, várias técnicas de texto, e relação sinal/ruído 1.

Vocabulário limitado a 32 palavras fonemicamente balanceadas 2. Sentenças conhecidas pelos panelistas 3. Textos MRT (esta curva praticamente se confunde com as curvas obtidas com vocabulários limitados a 256 palavras fonemicamente balanceadas, e com sentenças apresentadas pela primeira vez aos panelistas) 4. Vocabulário com 1000 palavras fonemicamente balanceadas 5. 1000 ou mais sílabas diferentes, todas sem sentido acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma das coisas que deu muito impulso a esta técnica é a possibilidade de se isolar com facilidade a contribuição individual que cada banda de frequência tem para a formação e determinação da inteligibilidade como um todo. O que já vimos anteriormente. Como por exemplo, que a oitava centrada em 2 kHz contribui sozinha com mais do que 30% para a formação da inteligibilidade como um todo.

Aliás, isto sugere a grande importância que se atribui às consoantes com frequências mais elevadas no espectro.

E também, explica porque o telefone, com seu espectro de frequências limitado à faixa de 300 Hz a 3,5 kHz, é capaz de apresentar inteligibilidade tão elevada.

O AI também pode ser medido pelo método de avaliação direta. Nesse caso, a obtenção do índice deve ser relacionada com o percentual de palavras teste corretamente entendido, e ainda, com a relação sinal/ruído. Isso é o que nos mostra a figura 6.57.

nível de interferência da palavra Há algumas outras técnicas, também baseadas em ruídos, que são mais simples do que o índice de articulação AI.

Nestas, o que se faz é medir os níveis de ruído nas bandas de 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz e 4

kHz. A seguir, é calculada a média aritmética desses níveis, valor este que é comparado com referências tabuladas para garantir distâncias de máxima satisfação na comunicação.

índice percentual de perda de articulação consonantal ($AL_{CONS}\%$) Já discutimos este índice no item 6.5.2.3. Mas apenas como forma de prever a inteligibilidade durante a fase de projeto do sistema. Com efeito, só em 1986 foi possível aplicar técnicas indiretas, e fazer as correspondentes medições, para a determinação do índice em sistemas já instalados.

Para tanto, é preciso empregar um analisador TEF. A essência da técnica consiste em medir o sinal acústico transmitido pelo sistema de som, especialmente a relação campo direto/campo reverberante, e o ITDG.

Neste caso, considerado como o tempo que o sinal consome para cair 10 decibels de seu patamar inicial. Isso pode ser avaliado pela análise da curva representativa do tempo de reverberação.

A partir desses parâmetros o analisador TEF computa o valor do $AL_{CONS}\%$.

índice C50

Esta é outra técnica de medição indireta, assim chamada porque o índice é a relação entre a reverberação verificada nos primeiros 50 milissegundos contados a partir do recebimento do sinal direto de teste, e a reverberação total.

Embora o índice C50 apresente boa correlação com a inteligibilidade, as escalas de aferição existentes ainda não foram suficientemente definidas.

índice C7

Uma variação do índice C50, utilizada em alguns países da Europa, especialmente na Alemanha.

STI (Speech Transmission Index) Quando se pensa nos métodos de avaliação indireta da inteligibilidade, considera-se que a energia correspondente à voz humana fica contida principalmente no espectro de frequências limitado a 125 Hz nas frequências mais baixas, e a 8 kHz nas mais altas.

Tão importante quanto isto é entender que os sons emitidos pela fala são constantemente modulados em amplitude. Para a média das pessoas, as frequências de modulação de voz estão entre 0,25 Hz e 30 Hz.

Fale um pouquinho usando entonação, e isso lhe parecerá claro.

Assim, o sinal de teste para a medição STI tanto pode ser a fala humana, convencional, quanto sinais de teste sintetizados.

Naturalmente, esses sinais sintetizados devem ser portadores de características semelhantes aos sinais de vozes humanas.

A rigor, usando tais sinais, as medidas obtidas são realmente mais precisas do que as obtidas a partir de voz humana.

Em sua forma análoga, esse sinal sintetizado é formado por ruídos distribuídos em sete bandas de oitava, centradas em 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 e 8.000 Hz.

O que realmente pode representar muito bem o espectro da voz humana. Cada uma dessas bandas é então modulada em amplitude por 14 ondas sinusoidais, cujas frequências variam entre 0,63 Hz e 12,5 Hz.

Desse modo, forma-se uma grade, ou matriz, que resulta da combinação das 7 bandas, cada uma delas modulada de 14 maneiras diferentes.

E isso totaliza 98 combinações possíveis.

Como mostra a figura 6.58.

O cômputo do índice STI completo exige o trabalho com todas as 98 combinações. A seguir, são calculados valores médios para cada banda, e finalmente, os valores médios são ponderados e combinados para dar origem ao índice desejado.

BANDAS DE OITAVAS Hz	FREQUÊNCIA (HERTZ)						
	125	250	500	1K	2K	4K	8K
$f_1 = 0,63$							
$f_2 = 0,8$							
$f_3 = 1,0$							
$f_4 = 1,25$							
$f_5 = 1,6$							
$f_6 = 1,8$							
$f_7 = 2,5$							
$f_8 = 3,15$							
$f_9 = 4,0$							
$f_{10} = 5,0$							
$f_{11} = 6,3$							
$f_{12} = 8,0$							
$f_{13} = 10$							
$f_{14} = 12,5$							

figura 6.58 a grade dos sinais de teste STI, com suas 98 combinações acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne STI_R (ou versão revisada do STI) Em sua proposição original, as sete bandas de frequências STI são tratadas e computadas simultaneamente. Isso impede a separação dos subprodutos de distorção

harmônica dos componentes não distorcidos. O que é suficiente para provocar erros de medida.

Na formulação original também não há distinção entre vozes femininas e masculinas, já que os sinais de testes sintetizados são sempre os mesmos. E finalmente, não se considera eventuais efeitos de mascaramentos.

Na versão revisada todos esses parâmetros já são levados em conta.

Para possibilitar a distinção entre sinais distorcidos e não distorcidos, as sete bandas são processadas e analisadas separadamente. Como contrapartida, o tempo total requerido para as medições é correspondentemente mais elevado. Também há opções por diferentes ponderações, o que possibilita efetuar os testes voltados para vozes femininas ou masculinas. E as investigações referentes a ruídos de mascaramento são perfeitamente possíveis.

STIPA (Speech Transmission Index for Public Address Systems) Variante do STI especialmente desenvolvido para ser uma maneira rápida de lidar com sistemas eletroacústicos e acústica propriamente dita, de modo a determinar a qualidade da transmissão da palavra em sistemas PA, no sentido norte-americano do termo. Ou seja, esses sistemas PA são sistemas de avisos e chamadas, como os instalados em aeroportos, escolas, etc.

Com efeito, os sinais de teste do STI podem ser simplificados se as modulações não correlacionadas, como no caso dos sinais correspondentes à voz humana, necessárias para a interpretação precisa de distorções não lineares forem omitidas.

Essa possibilidade permite a modulação simultânea e o processamento paralelo de todas as frequências das bandas de oitavas, reduzindo o tempo de medição. A contrapartida é que esse mecanismo reduz a acuidade na contagem de algumas formas de distorções não lineares.

Para cada banda de oitava a MTF (Função de Modulação de Transferência, explicada com detalhes no tópico adiante, RASTI/STI) é determinada para duas frequências de modulação.

Considera-se que o STIPA é aplicável a medições de inteligibilidade da palavra para locução natural e para sistemas de som do tipo avisos e chamadas.

Enquanto o STI consiste de 98 sinais de testes separados usando 14 frequências de modulação diferentes distribuídas em sete bandas de oitavas, o STIPA consiste de um único sinal de teste com um conjunto pré definido de duas modulações em cada uma das sete bandas de oitavas. As quatorze modulações são geradas simultaneamente.

Dessa maneira cada medição de STIPA completa consome algo entre 10 e 15 segundos.

STITEL

Trata-se de uma versão muito reduzida do STI, especificamente desenvolvida para uso com equipamento telefônico. De onde provém o nome.

Neste método, há apenas uma frequência de modulação para cada banda, como mostra a tabela 6.5.

tabela 6.5

BANDA DE OITAVA Hz	FREQUÊNCIA DE MODULAÇÃO Hz
125	1,25
250	11,33
500	0,71
1.000	2,83
2.000	6,97
4.000	1,78
8.000	4,53

o conceito CIS

CIS, que é abreviatura para Common Intelligibility Scale, ou Escala Comum de Inteligibilidade, é um critério desenvolvido para possibilitar o relacionamento direto dos índices obtidos pelos vários métodos. Embora os detalhes sejam muitos, como revela a leitura da especificação IEC 849-199X, é sempre possível resumir como os índices estão relacionados. É o que mostra a tabela 6.6.

tabela 6.6

ESCALA	VALOR
CIS	0,65
AI	0,445
STI	0,446
PB (1.000)	0,686
PB (256)	0,924
$\frac{1 - AL_{CONS}\%}{100}$	0,848
$AL_{CONS}\%$	15,2%

RASTI/STI

Em 1983 dois holandeses, Herman Steeneken e Tammo Houtgast, provaram que o STI era uma forma confiável de aferir a inteligibilidade para inúmeros idiomas europeus.

Oficialmente lançado em 1971, o STI não foi inicialmente considerado como ferramenta de grande utilidade, e por isso mesmo, foi muito pouco utilizado na prática.

Isto, até que a empresa Brüel e Kjaer introduzisse no mercado seu medidor RASTI modelo 3361. Suas partes são o transmissor tipo 4225, e o receptor tipo 4419. O termo RASTI é abreviatura para RApid Speech Transmission Index.

Na época de seu lançamento, o produto chegou a ser considerado uma espécie de caixa mágica capaz de produzir resultados rápidos e precisos, sem qualquer necessidade de utilização de instrumental especializado, ou de treinamento do operador.

O sistema implementado pela Brüel e Kjaer possui interface homem-máquina extremamente amigável, permitindo que avaliações precisas sejam feitas num piscar de olhos.

Muitos padrões internacionais foram elaborados tomando-se o método RASTI como referência, e como uma das principais formas de se fazer medições objetivas. A exemplo do padrão IEC 849, de 1989, cujo título é Sistemas de Som Para Finalidades Emergenciais.

Pelo mundo todo, muitos consultores, autoridades nacionais, estaduais e municipais também especificam o RASTI como forma de medir e estabelecer sem ambiguidades a inteligibilidade de um sistema de som. O método é internacionalmente consagrado pela

indústria aeronáutica, que o utiliza para medir a inteligibilidade de sistemas de avisos e anúncios em aeronaves.

E por essa razão, a inteligibilidade nos aviões de carreira melhorou muito nos últimos anos.

Vejamos então os princípios básicos que tornam o medidor RASTI operacional.

O espectro de frequências de voz, e sua modulação, definem o que podemos chamar de envelope da fala.

Num caso real, se medirmos o envelope da fala nas proximidades da boca do orador, ou mesmo de um falante, e depois, a uma certa distância dele, vamos verificar que todo e qualquer envelope sofre alterações. Isso tanto é verdadeiro em ambientes abertos quanto nos fechados. Se não fosse por essas alterações, teríamos assegurada uma das principais condições capazes de garantir excelente inteligibilidade. Que, de fato, se degrada na proporção da alteração do envelope da fala.

As alterações verificadas nos envelopes devem-se principalmente à introdução de ruídos nos sinais, e também, às circunstâncias próprias das reverberações no local. Ou seja, às condições acústicas vigentes.

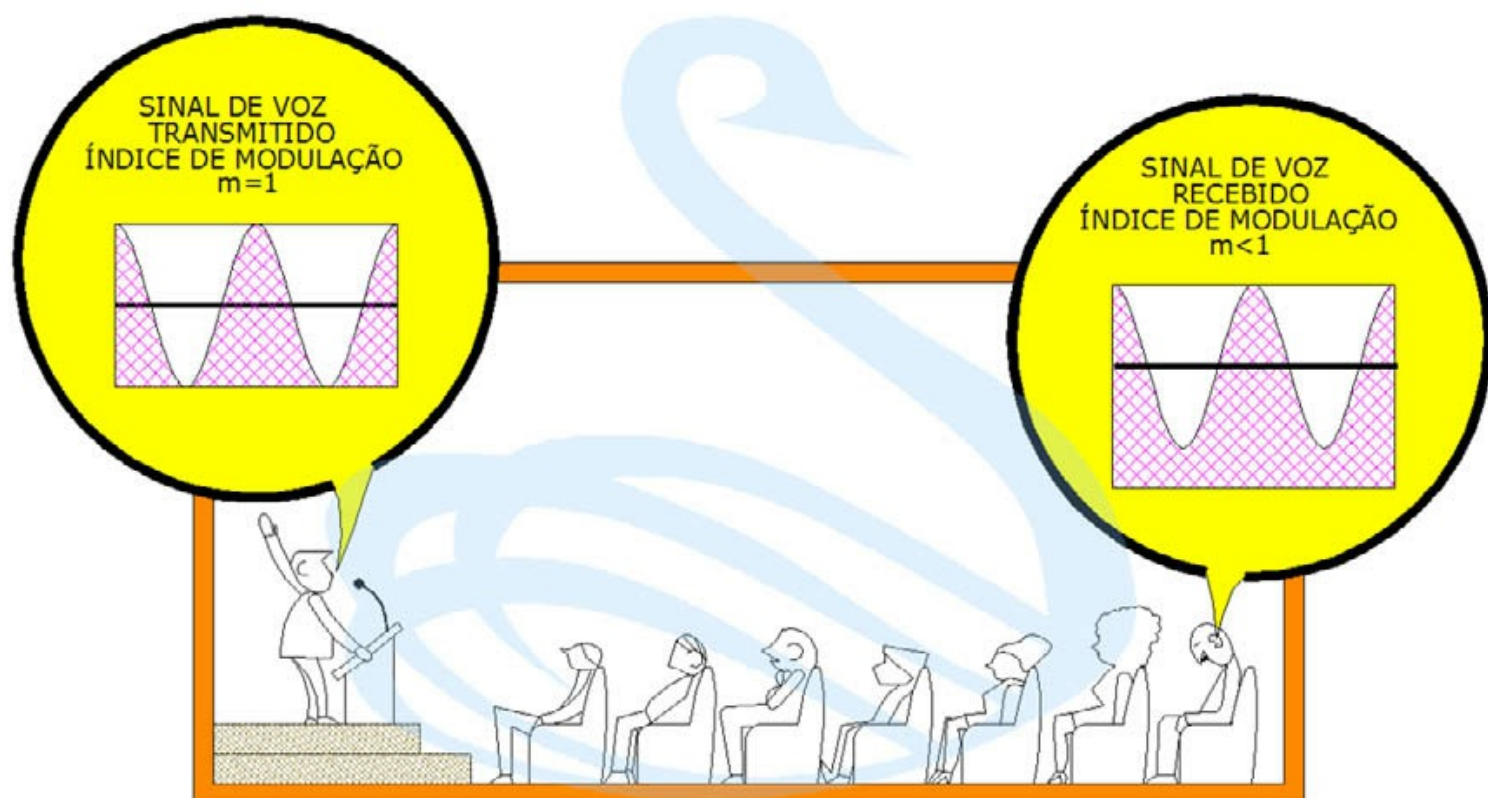


figura 6.59 a redução de modulação no sinal de voz provocado por ruídos e reverberações acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Neste caso específico, tais condições acústicas são denominadas canal de comunicação acústica.

Exaustivas análises feitas com envelopes originais, e as medidas de suas alterações, indicam que a principal diferença é invariavelmente a redução da modulação dos sinais. Que pode ser maior ou menor de caso a caso.

Portanto, a inteligibilidade também pode ser expressa em termos da redução da modulação imposta aos envelopes da fala.

Em seu trabalho muito profícuo, Houtgast e Steeneken já haviam descoberto que a redução da profundidade de modulação e a inteligibilidade da palavra mantinham forte correlação. Novamente, outra medição de perda de informações.

A figura 6.59 ilustra como ocorre a redução de modulação em casos reais.

A redução da modulação pode ser facilmente representada por um fator, chamado fator de redução de modulação. Ele é expresso como uma função da frequência de modulação, e sua denominação técnica correta é Função de Modulação de Transferência, ou MTF, para Modulation Transfer Function.

A grande vantagem da MTF é que ela nos permite avaliar objetivamente a qualidade da transmissão da fala.

Pois bem, o método RASTI está baseado exatamente na medição da redução da modulação de um sinal de teste transmitido através de um canal de comunicação acústica.

O conceito RASTI, elegante por natureza, emprega um sinal de teste com muitas das qualidades do sinal de voz humana. Uma das maiores semelhanças entre os dois sinais é o fator de crista, de 11 a 12 dB no sinal de teste RASTI, comparado com figuras típicas 12 a 15 dB em casos reais.

Na época em que foi imaginado, o medidor RASTI estava baseado no emprego de computadores portáteis, então com capacidade computacional muito limitada. Especialmente na velocidade.

Portanto, ao invés de empregar todas as 98 combinações originais do STI, o sinal de teste RASTI emprega uma forma própria, composta de ruído modulado em amplitude.

O ruído consiste de apenas duas bandas de oitava, uma centrada em 500 Hz, e outra em 2.000 Hz. Os níveis dessas duas bandas são ajustados para simular a média do que se verifica com a fala humana habitual. Isto é, 59 LP para a banda centrada em 500 Hz, e 50 LP para a banda centrada em 2.000 Hz. Como mostra a figura 6.60.

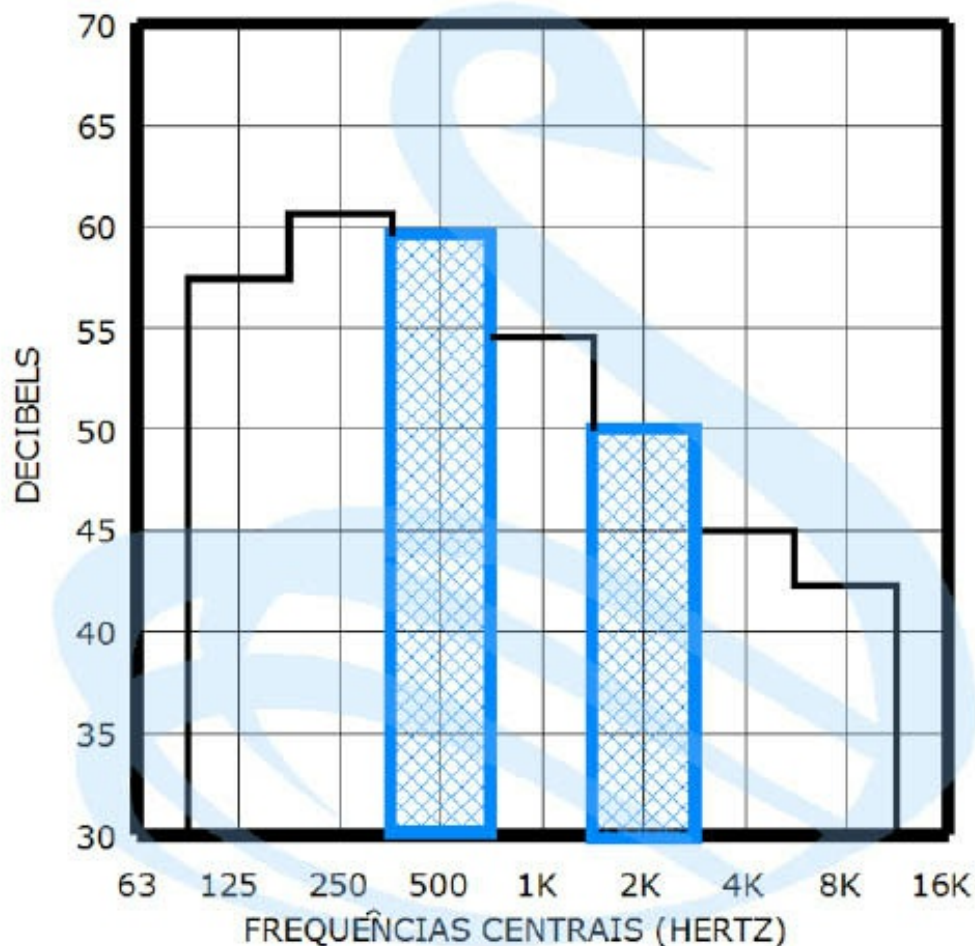


figura 6.60 as bandas e ponderações que compõem o ruído do sinal de teste RASTI acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As modulações de baixas frequências presentes na fala humana são simuladas no RASTI por 9 frequências de modulação, que estão entre 1 Hz e 11,2 Hz

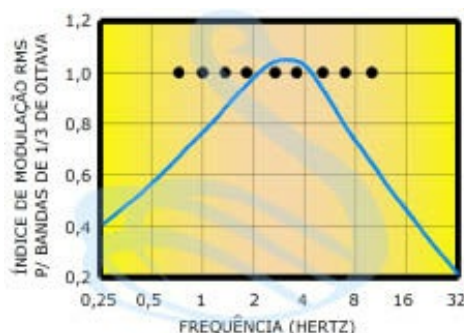


figura 6.61 distribuição das frequências naturais de modulação da voz humana, e frequências discretas de modulação utilizadas no sinal de teste RASTI acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.61 mostra a curva de distribuição das frequências de modulação presentes na voz humana, e as frequências discretas de modulação utilizadas no método RASTI. Estas são representadas na figura por círculos escuros.

Como consequência, a grade, ou matriz RASTI, é formada por apenas 9 combinações, que resultam da aplicação de 4 frequências de modulação sobre a banda de 500 Hz, e de 5 sobre a de 2.000 Hz. Exatamente como ilustra a figura 6.62.

BANDAS DE OITAVAS Hz	FREQUÊNCIA (HERTZ)						
	125	250	500	1K	2K	4K	8K
$f_1=0,63$							
$f_2=0,8$							
$f_3=1,0$							
$f_4=1,25$							
$f_5=1,6$							
$f_6=1,8$							
$f_7=2,5$							
$f_8=3,15$							
$f_9=4,0$							
$f_{10}=5,0$							
$f_{11}=6,3$							
$f_{12}=8,0$							
$f_{13}=10$							
$f_{14}=12,5$							

figura 6.62 a grade dos sinais de teste RASTI, com suas 9 combinações acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Atualmente, um computador bem modesto seria capaz de processar as 98 combinações num tempo extremamente reduzido.

A medição RASTI é feita transmitindo-se o sinal de teste, e em seguida, feita a análise de sua recepção na posição do ouvinte, ou na posição em que se quer avaliar a inteligibilidade.

São calculadas 9 reduções de modulação, uma para cada frequência de modulação, como se as reduções tivessem sido provocadas exclusivamente pelo nível de ruído ambiente.

Para fazer esses cálculos, os computadores utilizam a seguinte expressão:

$$m(F) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[2\pi F \frac{RT_E}{13,8} \right]^2}} - \left(\frac{1}{1 + 10^{-\frac{s}{N} \frac{1}{10}}} \right) \quad (6.17)$$

onde

• $m(F)$ é a redução de modulação na frequência de modulação F , • RT_E é a queda inicial do tempo de reverberação, medida entre o local onde o sinal de teste é gerado e a posição de medição, e • S/N é a relação sinal/ruído A seguir, são computadas as nove relações sinal/ruído que teriam produzido os índices calculados, também chamadas relações sinal/ruído aparentes.

Cada um desses nove cálculos é processado de acordo expressão:

$$X_i = 10 \log \left[\frac{m_i}{1 - m_i} \right] \quad (6.18)$$

onde

- X_i é a relação sinal/ruído aparente, correspondente a m_i , e • m_i é o fator de redução de modulação. Os valores X_i são matematicamente limitados a ± 15 dB, de sorte que se $X_i > 15$ dB, então $X_i = 15$ dB, e se $X_i < -15$ dB, então $X_i = -15$ dB.

Finalmente, calcula-se a média aritmética desses 9 valores X_i , que é normalizada para que o índice final fique sempre compreendido entre 0 e 1. A aplicação dessa versão reduzida de STI pelo método RASTI traz inúmeras vantagens. A principal é levar em conta parâmetros como ruídos de mascaramento e efeitos de reverberações. Mas não menos importante é que o processo é totalmente definido. O que significa que o operador não precisa ajustar cursores, nem fazer julgamentos acústicos subjetivos. Além de informar um único índice (STI, e não RASTI, que é o processo), a grade RASTI possibilita ao operador experiente deduzir uma série de informações, e fazer diagnósticos. Por exemplo, se a natureza de uma potencial redução de inteligibilidade é causada por ruídos ou por reverberações.

No que pese o grande elenco de vantagens de que é portador nato, o RASTI não é infalível. A experiência mostra que o método também apresenta desvantagens.

Inicialmente, ele pressupõe que a resposta de frequência do sistema em teste cubra sempre o espectro mínimo de 200 a 6.000 Hz. O que é verdade para a maioria dos casos. Mas pode não ser para alguns sistemas, como os industriais que utilizam cornetas reentrantes.

Nessas circunstâncias, o método RASTI apontará índices mais elevados do que os reais, com variações que podem chegar aos 10%, ou pouco mais do que isso. O que é muito.

Por exemplo, pelo método RASTI poderíamos ter medido um índice STI igual a 0,46 ($AL_{CONS}\% = 14,1\%$), contra um valor real STI igual a 0,40 ($AL_{CONS}\% = 19,5\%$).

Portanto, teríamos feito medições, e com base nos valores obtidos concluiríamos que a inteligibilidade ainda seria regular e aceitável. Mas na prática, teríamos percepção de que as coisas não seriam tão boas, uma vez que a figura real seria bem pior do que a figura medida.

Outra dessas desvantagens é o efeito dos processamentos, como a compressão e a limitação, que tendem a reduzir a profundidade de modulação, e enganar o medidor RASTI. Como resultado, são medidos valores inferiores aos esperados.

RASTI VERSUS $AL_{CONS}\%$

No que se refere às medições, os analisadores TEF possibilitam não só avaliar a inteligibilidade, mas também, oferecem poderosas ferramentas para corrigi-la.

Já o medidor RASTI possibilita apenas avaliar a inteligibilidade. Como disse anteriormente, um operador muito experiente em medição RASTI poderá deduzir algumas outras informações, além de apenas saber qual é a inteligibilidade. Mas tais complementos ficam muito distantes do elenco de informações adicionais propiciadas pelos analisadores

TEF.

Estes dois métodos de medição de inteligibilidade são muito apreciados porque ambos independem de considerações estatísticas. A tabela 6.7 mostra a correlação entre os índices $AL_{CONS}\%$ e os índices STI, obtidos pelo método RASTI.

tabela 6.7

EXCELENTE		BOA		REGULAR		INSUFICIENTE		MÁ	
AL_{CONS} %	STI RASTI	AL_{CONS} %	STI RASTI	AL_{CONS} %	STI RASTI	AL_{CONS} %	STI RASTI	AL_{CONS} %	STI RASTI
0,0	1,00	2,8	0,76	7,4	0,58	17,5	0,42	33,6	0,30
0,8	0,98	3,1	0,74	8,2	0,56	19,5	0,40	37,4	0,28
0,9	0,96	3,4	0,72	9,1	0,54	21,8	0,38	41,7	0,26
1,0	0,94	3,8	0,70	10,2	0,52	24,2	0,36	46,5	0,24
1,2	0,92	4,3	0,68	11,4	0,50	27,0	0,34	51,8	0,22
1,3	0,90	4,8	0,66	12,7	0,48	30,1	0,32	57,7	0,20
1,4	0,88	5,3	0,64	14,1	0,46				
1,6	0,86	5,9	0,62	15,7	0,44				
1,8	0,84	6,6	0,60						
2,0	0,82								
2,2	0,80								
2,5	0,78								

Quem quiser entrar mais detalhadamente na questão das várias maneiras de mensurar a inteligibilidade da palavra pode consultar o documento IEC 60268-16:2011, facilmente encontrado na Internet em sua versão completa, com suas aproximadamente 70 páginas.

6.4.3 Armas contra a Microfonia 6.4.3.1 Ganho Acústico Sistemas de reforço de som que empregam microfones têm por função básica reforçar o som de quem fala ou canta no microfone para os ouvintes, de forma que estes tenham nível de pressão sonora com o sistema ligado equivalente ou maior do que aquele medido na EAD.

Ganho acústico é o nome dado a essa diferença de níveis, expressa em dB. Ela é diferente de local para local por toda a área atendida pelo sistema. Mas quando nos referimos a ganho acústico, estaremos nos referindo ao ouvinte situado em D_2 .

6.4.3.2 Ganho Acústico Necessário (NAG)

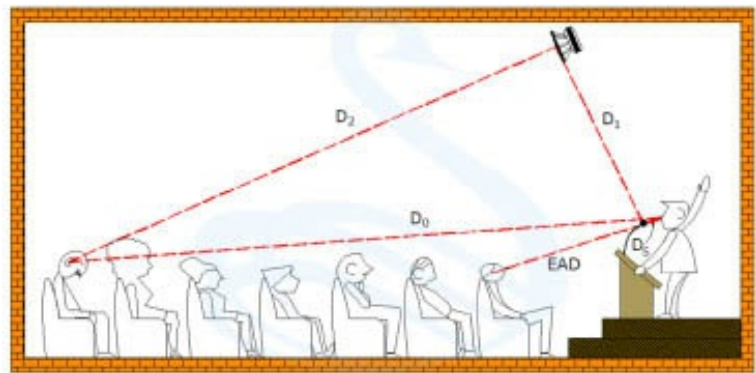


figura 6.63 caso típico de sistema de reforço, evidenciando as distâncias D_s , EAD, D_o , D_1 e D_2 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.63 vai nos servir muito doravante. Ela nos mostra as distâncias que devem ser consideradas como mais importantes em casos de sistemas de áudio profissional, isto é, D_s , EAD, D_o , D_1 e D_2 .

Como vimos, o objetivo principal de qualquer sistema de reforço é, através da amplificação, reconstituir no local onde se encontra o ouvinte mais afastado do orador ou artista, as condições acústicas e de audição da EAD, sem amplificação. Vemos na figura 6.63 que D_o é a maior distância entre qualquer ouvinte e a boca do orador. Então, nossa condição estará satisfeita quando o ganho do sistema for

$$20 \log D_o - 20 \log \text{EAD} \quad (6.19)$$

Esta expressão é exatamente o Ganho Acústico Necessário, ou NAG, pois o resultado dos cálculos nos informa que ganho nosso sistema precisa ter para reconstituir em D_o as condições acústicas e de audição de EAD.

Sua interpretação pode ser feita da seguinte maneira. O termo $20 \log D_o$ representa o ganho com o qual precisamos operar o sistema apenas para compensar a perda acústica imposta pela distância entre ouvinte e orador, ou seja, D_o . E como admitimos trabalhar sem amplificação até a distância EAD, podemos subtrair deste ganho aquele que “compensaria” a perda acústica ao longo de EAD. Que é exatamente o termo $20 \log \text{EAD}$.

A expressão (6.19) pode assumir uma forma mais geral, que é

$$\text{NAG} = \Delta D_o - \Delta \text{EAD} \quad (6.20)$$

Os termos ΔD_o e ΔEAD apenas representam as perdas em decibels equivalentes às respectivas distâncias.

6.4.3.3 Ganho Acústico Potencial (PAG) O ganho acústico de qualquer sistema de reforço, por exemplo o da figura 6.63, pode ser aumentado à vontade, bastando que aumentemos os controles de ganho do sistema, ou atuemos sobre os controles master fader do mixer.

Mas há um limite, no qual o sistema entra em oscilação regenerativa, provocando o que conhecemos por microfonia.

Vejamos mais detidamente a causa disso.

Imagine o mais simples dos sistemas de reforço. Apenas um microfone, um amplificador e um falante.

O som que pretendemos reforçar é captado pelo microfone, transformado em sinal elétrico, amplificado pelo amplificador e entregue ao falante, que transforma o sinal amplificado em som, ou material reforçado.

O material entregue pelo falante se espalha pelo recinto fechado obedecendo aproximadamente o padrão indicado pela curva azul da figura 5.15.

Se nos dirigirmos para o local exato onde está o microfone, e encostarmos um de nossos ouvidos nele, é líquido e certo que vamos ouvir o som produzido pelo falante. Inclusive, sua intensidade pode ser prevista se dispusermos dos elementos necessários para a montagem da curva do campo total.

Ora, assim como nossos ouvidos, o microfone também “escuta” o mesmo som que podemos ouvir. E claro, o processará. Isto quer dizer que uma parcela do som produzido pelo falante será sempre captada pelo microfone. O que inevitável. O fenômeno é conhecido como realimentação acústica.

Se você ainda duvida disso, ou simplesmente quer viver a experiência do efeito, basta fazer o teste com seus próprios ouvidos na posição de um microfone de qualquer sistema operando.

Uma vez que o microfone tenha sofrido a primeira realimentação, o sinal entregue por ele ao amplificador conterà o som original gerado pelo orador ou artista e mais a parcela realimentada. E é exatamente isso o que será amplificado e, naturalmente, reproduzido pelo falante. Esse **novo** material reproduzido pelo falante vai realimentar o microfone uma segunda vez. E assim, agora o amplificador amplificará o sinal original e mais duas gerações de realimentação. Claro que na saída do falante teremos o correspondente ao programa original e mais duas realimentações sucessivas.

Essa mesma mecânica se repete centenas de vezes em poucos segundos, e continua até que um ponto de equilíbrio seja naturalmente atingido. O conjunto das várias realimentações sucessivas também é genericamente chamado de realimentação.

Bem, agora que sabemos o que é realimentação acústica, podemos dizer que quando a pressão sonora proveniente do falante e que realimenta o microfone é suficientemente elevada, o sistema passa a operar de maneira autossustentada. Significa dizer que ele se torna tão autossuficiente que, além de ser apenas um sistema de reforço, passa a se constituir, também, em sua própria fonte de geração de som.

O efeito audível característico resultante é o que chamamos microfonia.

O ponto teórico exato em que ocorre a microfonia é chamado de ganho unitário. Em outras palavras, o ganho unitário ocorre quando a intensidade do material realimentado, como arbitrado pelo microfone, passa a ser igual à intensidade do próprio material produzido pelo orador ou artista, também como arbitrado pelo microfone.

Operar o sistema nesse ponto, ou com realimentação mais elevada ainda, é o mesmo que dizer que teremos obtido êxito na construção de um excelente oscilador.

O ponto de ganho unitário, ou o ponto onde a microfonia ocorre, estabelece o ganho acústico potencial.

Podemos dizer então que o ganho acústico potencial representa o máximo ganho acústico que pode ser obtido do sistema antes que ocorram oscilações. Ainda na etapa de projeto podemos aumentar o ganho acústico potencial limitando as condições através das quais a realimentação se desenvolve.

Por outro lado, antes do sistema atingir o ganho unitário, ao que vale dizer, o ponto de perda de controle de estabilidade, ele apresentará uma forma toda própria e original de sinalizar que o ganho unitário está próximo. E com ele, a microfonia. Esta condição é chamada de “ringing”, e trata-se de um efeito bem audível e sonicamente inconfundível.

A experiência mostra que qualquer sistema operado ao nível de PAG, ou muito próximo dele, apresenta resposta de frequência com tendências muito irregulares.

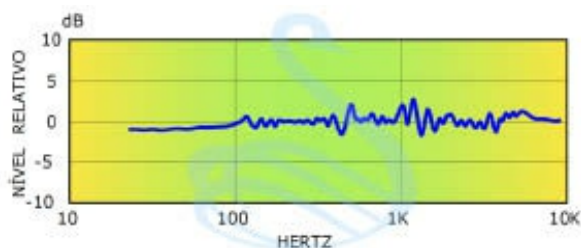


figura 6.64 resposta de frequência típica de um sistema bem alinhado, mas operando na região de “ringing”
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O que pode ser melhor avaliado se observarmos com atenção a figura 6.64, que mostra a resposta de frequência típica de um sistema bem projetado, bem instalado e bem alinhado, mas operando na região de “ringing”.

Para evitar que o sistema trabalhe nessa região, temos que pensar em operá-lo com ganho inferior ao ganho unitário. Essa diferença de ganhos é uma margem de trabalho.

Seu nome técnico é FSM, para Feedback Stability Margin (ou Margem para Estabilidade de Realimentação).

Naturalmente, quanto maior for a FSM, mais do lado da prudência estaremos.

Por outro lado, estabelecer um valor desmesuradamente alto para FSM é condenar aquele que vai pagar pelo sistema a desembolsar muito dinheiro, que provavelmente não será usado.

Seu dinheiro será investido em capacidade inútil de amplificação.

Farta documentação hoje disponível, em grande parte baseada em casos reais, bem como a experiência acumulada por milhares de projetistas, apontam que o valor mínimo da FSM deve ser 6,0 dB.

Pessoalmente, e também baseado em inúmeros casos reais, concordo com a figura mínima dos 6,0 dB.

Isto para sistemas bem equalizados. Quando esse não for o caso, melhor é pensar num valor de FSM mínimo de 12 dB.

Vimos anteriormente que era preciso atenuar o ganho do sistema quando houvesse mais do que um só microfone aberto. Mas vale a pena irmos um pouquinho adiante com isso.

Quando há dois microfones simultaneamente abertos num mesmo local, ambos captando aproximadamente o mesmo material e com a mesma intensidade, o sinal de entrada entregue para amplificação é duplicado. Logo, o mesmo ocorre na saída do falante.

Assim, para manter constante o nível final na saída do sistema teremos que reduzir seu ganho em 3,0 dB. Quando a Quantidade de Microfones Simultaneamente Abertos (NOM) for igual a quatro, o ganho terá que ser reduzido em 6,0 dB, e assim por diante. Vemos, portanto, que quanto mais microfones simultaneamente abertos tivermos, mais teremos que reduzir o ganho do sistema.

A formula geral que nos permite calcular a redução de ganho necessária em função de NOM é a expressão 6.21.

Tudo o que discutimos acima pode ser matematicamente sintetizado com a expressão

$$\Delta D_0 + \Delta D_1 - \Delta D_s - \Delta D_2 - 10 \log \text{NOM} - 6,0 \text{dB} \quad (6.21)$$

Vamos tentar visualizar esta expressão com o auxílio da figura 6.58.

O operador matemático D apenas denota que cada uma destas distâncias deve ser convertida para decibels, como já havíamos feito na expressão 6.20.

O termo ΔD_0 representa o ganho máximo que o sistema deve apresentar. Ele é uma espécie de referência, ou ponto de partida de dimensionamento.

Vamos “admitir” agora que os termos com sinal positivo da expressão 6.21 sejam “favoráveis”. Isto é, nos permitam aumentar o ganho sem problemas de microfonia, e que os termos com sinal negativo sejam “desfavoráveis”, isto é, façam exatamente o contrário.

Vemos que, fora ΔD_0 , só há mais um termo positivo, que é ΔD_1 . Deve nos parecer intuitivo que quanto maior for a distância entre microfone e falante, menor será a realimentação, e portanto, maior o ganho com que o sistema pode ser operado, antes de atingirmos o ponto de microfonia, independentemente do ganho que precisamos.

Vejamos agora os termos negativos. O primeiro deles é ΔD_s . D_s é a distância entre o microfone e a boca do orador ou artista. Quando o artista se aproxima mais do microfone, o material por ele produzido, como “visto” pelo microfone, aumenta, enquanto o nível das reflexões acústicas sobre ele se mantém aproximadamente constante, ao que vale dizer, a realimentação se mantém no mesmo patamar.

Isso significa que quanto menor for a distância D_s maior pode ser o ganho do sistema antes da microfonia.

É exatamente o que o sinal negativo denota. Senão, vejamos. Quando D_s é menor do que

1,0 metro, qualquer que seja a distância convertida para decibels, o resultado será negativo. Este sinal negativo multiplicado pelo que aparece antes do termo ΔD_S na expressão 6.21 resulta numa figura positiva. E assim surge o efeito “favorável” a que nos referimos antes.

Quando a distância D_S é superior a 1,0 metro, a conversão da figura para decibels torna-se positiva.

E agora, este sinal positivo multiplicado pelo negativo que aparece antes do termo gera uma figura negativa, portanto “desfavorável”.

Ou seja, mostrando que aumentos de D_S são desfavoráveis.

Raciocínio idêntico aplica-se a ΔD_2 .

Quanto a $10\log\text{NOM}$, o termo expressa a redução de ganho necessária em função da quantidade de microfones simultaneamente abertos, como discutimos anteriormente.

E com relação aos 6,0 dB, esta é a FSM. Em seus termos mínimos.

Pois bem. A expressão 6.21 é exatamente o PAG. Feitas as contas, teremos em decibels o ganho potencial máximo com que podemos operar o sistema sem maiores problemas de microfonia. Em outras palavras, esse é o teto de nosso **Ganho Antes da Realimentação**.

Para converter as distâncias envolvidas na expressão 6.21 em decibels, não podemos simplesmente usar a expressão $20 \log D_X$. Se assim o fizéssemos, estaríamos calculando sempre para as condições de recintos abertos, ao ar livre, e portanto, desprezando o campo reverberante.

Podemos aplicar $20 \log D_X$ para distâncias inferiores à distância crítica, onde prevalece o campo direto. Mas para distâncias superiores a D_C , devemos converter distâncias em decibels aplicando a expressão Hopkins-Stryker, (5.5) do capítulo 5. Vamos ver como tudo isso se passa se atribuirmos valores às distâncias da figura 6.63. Façamos • $EAD = 2 \text{ m}$

- $DO = 45 \text{ m}$
- $DS = 0,3 \text{ m}$
- $D1 = 12,5 \text{ m}$
- $D2 = 40 \text{ m}$

Apenas para simplificar nossos cálculos vamos considerar (o que não é correto) que a lei dos inversos dos quadrados possa ser aplicada a locais fechados. Então calculamos ou procuramos na figura 2.6 os seguintes valores equivalentes: • $\Delta EAD = 6,0 \text{ dB}$

- $\Delta DO = 33,0 \text{ dB}$
- $\Delta DS = -10,0 \text{ dB}$
- $\Delta D1 = 22,0 \text{ dB}$
- $\Delta D2 = 32,0 \text{ dB}$

Com um único microfone aberto ($10 \log \text{NOM} = 0$), podemos escrever

$$NAG = 33,0 - 6,0 = 27,0 \text{ dB}$$

e

$$\text{PAG} = 33,0 + 22,0 + 10,0 - 32,0 - 6,0 = 27,0 \text{ dB}$$

A rigor, para ambientes abertos as perdas equivalentes a distâncias são determinadas pela lei dos inversos dos quadrados, e para ambientes fechados pela expressão de Hopkins - Stryker.

6.4.3.4 Ganho Acústico Suficiente (SAG) De qualquer forma, quando o NAG é igual ou inferior ao PAG, teremos ganho acústico suficiente. Caso contrário, é preciso reformular o conjunto de parâmetros, de forma a garantir que tenhamos ganho suficiente.

Por exemplo, reduzindo D_s .

Se pensarmos em $\text{NAG} = \text{PAG}$, podemos escrever

$$\Delta D_0 - \Delta \text{EAD} = \Delta D_0 + \Delta D_1 - \Delta D_s - \Delta D_2 - 10 \log \text{NOM} - 6,0 \text{ dB} \quad (6.22)$$

Simplificando,

$$\Delta D_0 - \Delta \text{EAD} = \Delta D_0 + \Delta D_1 - \Delta D_s - \Delta D_2 - 10 \log \text{NOM} - 6,0 \text{ dB} \quad (6.23)$$

Desta expressão podemos derivar:

$$\Delta D_{2 \text{ max}} = \Delta D_1 + \Delta \text{EAD} - \Delta D_s - 10 \log \text{NOM} - 6,0 \text{ dB} \quad (6.24)$$

$$\Delta D_{s \text{ max}} = \Delta D_1 + \Delta \text{EAD} - \Delta D_2 - 10 \log \text{NOM} - 6,0 \text{ dB} \quad (6.25)$$

$$\Delta D_{1 \text{ min}} = \Delta D_s + \Delta D_2 - \Delta \text{EAD} + 10 \log \text{NOM} + 6,0 \text{ dB} \quad (6.26)$$

$$\Delta \text{EAD}_{\text{ min}} = \Delta D_s + \Delta D_2 - \Delta D_1 + 10 \log \text{NOM} + 6,0 \text{ dB} \quad (6.27)$$

$$\text{NOM}_{\text{max}} = 10^{\left[\frac{\Delta D_1 + \Delta \text{EAD} - \Delta D_s - 10 \log \text{NOM} - 6,0 \text{ dB}}{10} \right]} \quad (6.28)$$

Vistos todos esses elementos, e ainda com a figura 6.55 em mente, analisemos que comportamento se pode esperar do sistema quando ocorrem alterações naquelas distâncias importantes.

- se D_1 for aumentada, o som direto produzido pelo falante chegará mais atenuado ao microfone, e será possível operar o sistema com ganho mais elevado
- inversamente, a

redução de D_1 implica na redução do ganho do sistema, sob pena de nos aproximarmos do PAG, reduzindo a FSM

- se D_2 for aumentada, o nível de pressão sonora em D_2 será inferior ao pretendido, e será preciso compensá-lo via aumento de ganho do sistema
- se D_s for aumentada, também cairá o nível de pressão sonora em D_2
- se EAD for reduzida, será preciso aumentar o ganho do sistema para garantir o mesmo nível de pressão sonora em D_2

O engenheiro de áudio capaz de prever mentalmente as reações do sistema em função das variações dessas distâncias leva grande vantagem sobre o que não consegue fazê-lo.

6.4.3.5 Limitações Essas regras básicas vistas até aqui estão sujeitas a certas limitações.

Quando analisamos a distância crítica (D_c), vimos que o microfone idealmente deveria ficar no campo reverberante. A isso equivale escrever

$$D_1 \geq D_c \quad (6.29)$$

Em muitos casos, os ouvintes próximos do microfone ouvem não somente os sons via falante (ao menos se a cobertura acústica é boa), mas também os sons diretos provenientes de quem usa o microfone.

Os sons reforçados estão sujeitos a atrasos naturais impostos pela velocidade do som. Por isso, é preciso cuidar para que quaisquer indivíduos nas proximidades do microfone não percebam os sons reforçados como eco. Isso se consegue limitando a distância entre microfone e falante. Logo,

$$D_1 \leq 14 \text{ metros} \quad (6.30)$$

Isso não é aplicável quando os ouvintes não ouvem os sons diretos de quem usa o microfone, que é geralmente o que ocorre em sonorizações de grandes eventos em ambientes abertos.

Quando se usa fonte única há outra limitação

$$EAD \geq 2.D_s \quad (6.31)$$

Que é imposta apenas para a manutenção da FSM.

Quando $D_s = EAD$, somos obrigados a fazer $D_1 \approx 2xD_2$, o que praticamente obriga a utilizar a técnica falantes distribuídos. É o que mostra a figura 6.65.



figura 6.65 exemplo de caso onde $D_s = EAD$, razão pela qual é preciso fazer $D_1 \geq 2 D_2$
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Repare que nessas circunstâncias D_2 é a distância entre o
ouvinte mais afastado do microfone e o falante mais próximo dele.

O outro limite para EAD é

$$EAD \leq D_c \quad (6.32)$$

Esse limite se deve ao fato de que, como EAD determina uma distância entre orador e ouvinte, tal que este tenha condições favoráveis de audição, se EAD for maior do que D_c , o ouvinte estará no campo reverberante, o que significa que não há necessidade de sistema de reforço.

Ao menos com relação ao nível dos sinais. Mas o sistema poderá ser usado para aumento de inteligibilidade.

Também já tínhamos visto que para ambientes fechados, com RT_{60} superior a 1,6 segundos, há um limite para D_2 , que pode ser determinado com o auxílio da figura 6.51.

6.4.3.6 Microfones e Alto-falantes Direcionais As expressões de NAG e PAG consideram que microfones e falantes são onidirecionais.

Utilizar microfones e falantes direcionais pode ajudar a aumentar o PAG.

A figura 6.66 ajuda a mostrar de que modo.

Trabalhando com o diagrama polar do microfone, podemos determinar a diferença em decibels entre os níveis na direção do orador e na direção do falante.

Do mesmo modo, podemos estabelecer para o falante a diferença em decibels entre os níveis na direção do eixo principal do falante e o na direção do microfone.

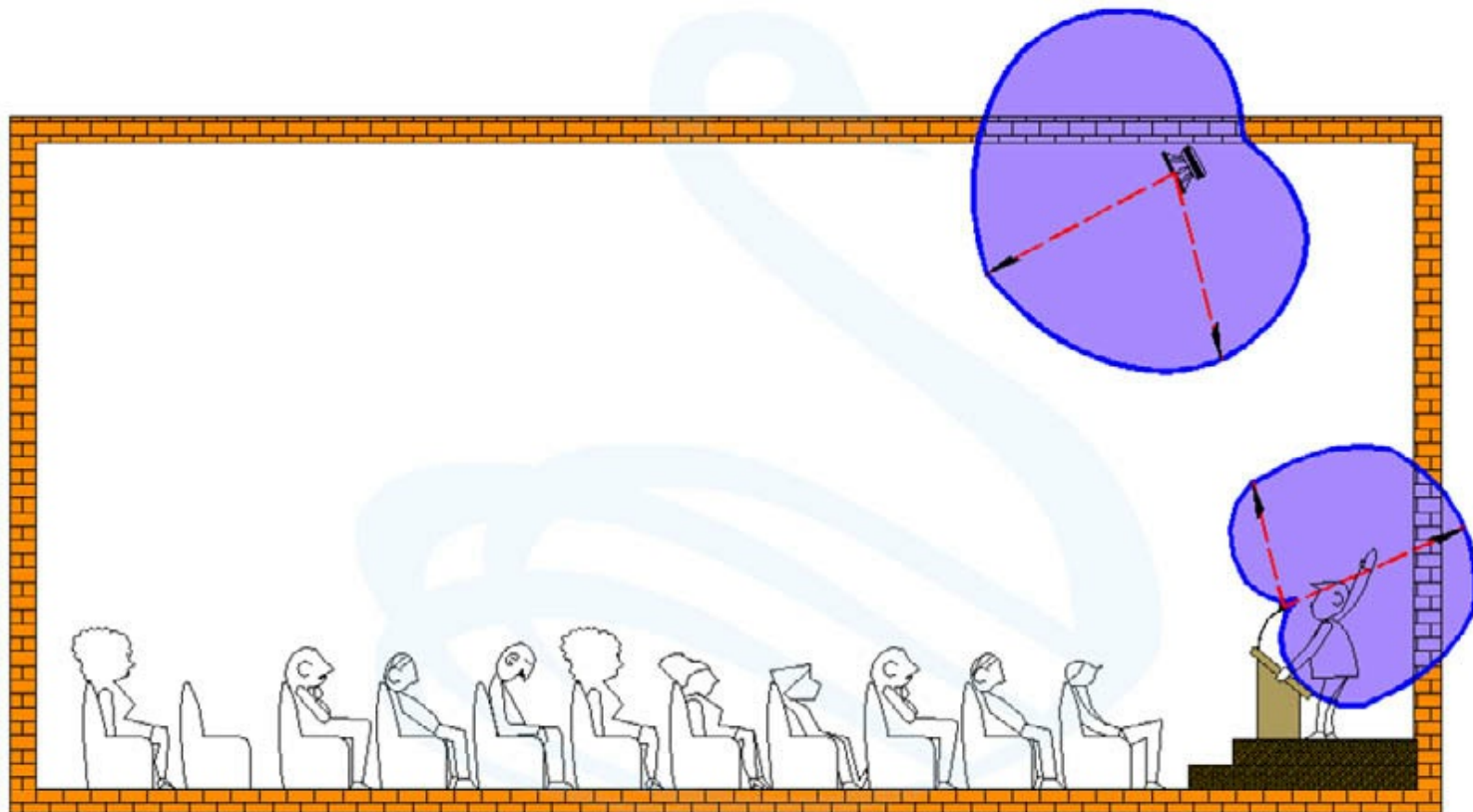


figura 6.66 utilização de microfones e falantes direcionais para aumento do PAG
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Teoricamente, a soma dessas diferenças corresponde ao aumento que podemos esperar no PAG.

Para efeito de projeto, a técnica de aumentar PAG por meio desse artifício não é recomendada, pois há vários aspectos conspirando contra seus resultados práticos.

Inicialmente, a direcionalidade de microfones e falantes é muito variável com a frequência, o que afeta a soma feita como antes indicado. Por outro lado, o direcionamento do microfone pode reduzir o campo direto, mas não o faz com o campo reverberante.

6.4.4 Nível de Programas, Margens e Potência Elétrica Necessária (EPR) Neste momento resta-nos saber como calcular a potência elétrica necessária (EPR) que determinará a seção de amplificação do sistema projetado.

Os cálculos de ganho acústico são pertinentes a sistemas de reforço. Mas a mesma técnica pode ser utilizada para quaisquer outros sistemas de sonorização.

Vimos também vários métodos para determinação do nível de pressão sonora desejado no ponto mais afastado do falante.

Isto feito, para determinar a EPR é preciso conhecer ainda a atenuação entre o falante e a pessoa mais afastada dele, e a sensibilidade axial do projetor.

Ao nível de pressão sonora desejado no ponto mais afastado possível do falante é preciso adicionar uma certa margem para tratar os picos e transientes (TPM). No caso de sonorização profissional, essa margem deve estar por volta de 10,0 dB para casos gerais, especialmente para reforço de voz. Eventualmente precisaremos trabalhar com margem mais elevada, até o

limite de 20,0 dB para música.

A expressão que permite calcular a EPR é

$$EPR = 10^{\left[\frac{NPD + TPM + \Delta D_2 - \text{Sensaxial}}{10} \right]} \quad (6.33)$$

onde

• NPD é o nível de programa desejado, • TPM é a margem para picos e transientes, • ΔD_2 é a perda equivalente à distância D_2 , e • Sensaxial é a sensibilidade axial do falante. Vejamos isto melhor através de dois exemplos: Num ambiente aberto queremos 80,0 L_p a 35,0 metros do falante, cuja sensibilidade axial é 98,0 $L_p/0$ dBW/1m, com TPM = 10,0 dB.

$$EPR = 10^{\left[\frac{80+10+\Delta D_2 - 98,0}{10} \right]} = 10^{\frac{90+31-98}{10}} = 10^{2,3} \cong 200 \text{ watts}$$

Neste caso, podemos calcular as atenuações usando o nomograma da figura 2.6.

Para o segundo exemplo consideremos que o ambiente é fechado, e as atenuações serão calculadas por meio da expressão Hopkins - Stryker. Então façamos $Q = 10$ e $S_{\#} = 4.000 \text{ m}^2$.

Segue que

$$\Delta D_2 = -10 \log \left[\frac{10}{4\pi(35)^2} + \frac{4}{4.000} \right] = 27,8 \text{ dB}$$

E teríamos

$$\text{EPR} = 10^{\frac{80+10+27,8-98}{10}} = 10^{1,98} = 95,5 \text{ watts}$$

Esses valores de EPR são para cada falante. No caso de usarmos fonte múltipla, é preciso multiplicar o valor encontrado pela quantidade total de falantes. Então,

$$\text{EPR}_{\text{TOTAL}} = \text{EPR} \times \text{Quantidade Total de Falantes} \quad (6.34)$$

Quando resultam valores quebrados de potência, como no caso acima, deve-se usar módulos de maior potência, com o valor disponível imediatamente superior ao valor calculado.

E para sabermos qual o nível de pressão sonora que resultará em D_2 com a nova potência disponível, usamos a expressão

$$\text{Nível Máximo de Programa} = 10 \log \left[\frac{\text{PER DISPONÍVEL}}{10} \right] - \Delta D_2 + \text{Sensaxial} \quad (6.35)$$

Embora se chame o nível acima de máximo, devemos lembrar que ele é o nível máximo de **programa**. O que significa que o valor não considera a TPM.

Suponhamos que no caso de nosso segundo exemplo tenhamos 500 watts disponíveis.

Podemos então calcular

$$\text{Nível máximo de programa} = 10 \log \frac{500}{10} - 27,8 + 98 = 87,2 \text{ dB}$$

Esse valor não deve ser comparado com 80,0 L_p mais 10,0 dB da TPM, mas apenas com os 80,0 L_p originais, que também era nosso nível de programa previsto.

Aliás, resultado esperado, pois podemos ver no nomograma da figura 2.5 que 95,5 watts correspondem a 19,8 dBW, e 500 watts a 27,0 dBW, sendo a diferença 7,2 dB. Ou seja, o mesmo que

$$87,2 L_p - 80,0 L_p$$

Quando o sistema é do gênero multiamplificado, por exemplo com 4 vias, com subwoofers, woofers, cornetas acústicas assistidas por drivers de compressão e supertweeters, a EPR deve

ser calculada independentemente para cada via.

6.4.5 Roteiro de Dimensionamento Nas páginas anteriores você viu os principais ingredientes que permitem prescrever um bom dimensionamento eletroacústico.

Entretanto, seguir um roteiro ajudará bastante.

A primeira coisa a fazer é medir ou calcular o tempo de reverberação do ambiente a ser sonorizado. A medição é simples, e a experiência mostra que o valor aferido é relativamente independentemente do local onde a aferição é feita. O cálculo manual pode ser simplificado com o preenchimento de algumas planilhas, como visto adiante. Nesse momento, calculam-se também o coeficiente médio de absorção acústica $\bar{\alpha}$, e a constante do ambiente (R).

O próximo passo é determinar D_2 . Mas isso significa saber se o sistema irá trabalhar com fonte única, fonte múltipla ou projetores distribuídos. E ainda, estabelecer quantos serão os falantes, quais serão suas localizações e como cada um estará espacialmente orientado (ângulos de azimuth, de zênite e de tilt).

O grau de complexidade dessas tarefas varia de caso a caso. Mas geralmente a parada é dura, exigindo invariavelmente muito cuidado e atenção do projetista.

E sem dúvida, estas etapas iniciais são passos decisivos em quaisquer projetos. Uma decisão errada nesta fase pode significar a mediocridade de todo o dimensionamento.

Afinal, o que está em jogo é o padrão de qualidade do projeto, a conservação de seus requisitos essenciais, especialmente a cobertura acústica adequada, além, naturalmente, do investimento a ser feito.

O que significa que o projetista deve procurar obter os melhores resultados possíveis com um mínimo de investimento.

Muitas vezes é conveniente pensar em algumas alternativas, desenvolver os correspondentes pré cálculos, levantar os respectivos custos, e compará-los.

Veremos adiante como essa tarefa pode ser facilitada com o auxílio de software.

Em quaisquer casos a experiência do projetista orientará para as melhores opções.

Em caso de equívoco grave, a sequência do dimensionamento o apontará. De qualquer forma, idealmente, deve-se inclinar as tendências para utilização de fonte única.

A seguir, determina-se o Q mínimo que permitirá AL_{CONS} % igual a 15%, e os $\angle CH$ e $\angle CV$ necessários, checando-se que o Q geométrico possibilita essas coberturas.

Nesse momento você saberá que em princípio é mesmo possível usar fonte única. Ou não.

E então, se for o caso, pode-se confirmar o valor atribuído a N (quantidade de pontos distintos onde estão os falantes).

E ao cabo disso, a D_2 final também já terá sido estabelecida. Aliás, o que era um dos

nossos objetivos de dimensionamento.

Vale notar que quando se utiliza fonte múltipla, a distância D_2 é a maior que possa haver entre qualquer falante e o ouvinte mais afastado dele, mas ainda na área de cobertura do falante. Como ilustra a figura 6.65.

Veja agora se é preciso introduzir o operador M.

Então calcule D_C .

Certifique-se de que N não afeta a relação entre D_2 e D_C .

Faça a aferição de nível de ruído ambiente, e estabeleça a relação S/R mínima necessária para que AL_{CONS} % não seja superior a 15%. Estabeleça então um valor para a EAD. Se ela for superior a D_C não será necessário usar sistema de reforço.

Estabeleça também um nível de pressão sonora mínimo, ou desejado, em EAD. O valor mínimo será igual à soma do nível de ruído ambiente com a relação S/R mínima antes estabelecida.

Fixe um valor para D_S em função do tipo de ação que dá origem ao programa. Compare-o com o valor de EAD. Se este for maior ou igual a duas vezes D_S , você poderá mesmo usar fonte única. Caso contrário não será possível utilizá-la e N será maior do que um.

Estabeleça um valor para D_1 igual ou superior a D_C .

Veja agora qual é a NOM (Quantidade de Microfones Simultaneamente Abertos) a ser utilizada.

Em seguida, você precisará calcular as atenuações correspondentes a D_1 , D_S , D_2 , EAD e NOM.

Para ambientes abertos, e distâncias inferiores a D_C em ambientes fechados, calcule as atenuações pela expressão

$$\Delta D_x = 20 \log D_x \quad (6.36)$$

Para os demais casos use a expressão

$$\Delta D_x = -10 \log \left[\frac{Q}{4\pi(D_x)^2} + A \right] \quad (6.37)$$

Isto feito, determine os valores D_1 mínimo, EAD mínima, D_S máxima, D_2 máxima e NOM máxima.

Esses valores deverão ser confrontados com aqueles determinados, e os parâmetros ajustados até que todas as condições sejam satisfeitas. A seguir, estabeleça o nível de programa desejado em D_2 .

Cheque para ver se ele permite a relação S/R mínima definida anteriormente.

Escolha um ou mais falantes com o Q calculado ou maior, e os $\angle CH$ e $\angle CV$ necessários. A maior sensibilidade axial possível. Calcule a EPR e a EPR total. E finalmente, estabeleça o nível máximo de programa que a potência disponível nos amplificadores permite obter.

Seu dimensionamento já está quase pronto.

Antes de apresentar uma planilha detalhada de dimensionamento que, se seguida, facilitará bastante o desenvolvimento dos trabalhos, são apresentadas duas planilhas específicas para cálculos acústicos. As planilhas 6.1 e 6.2.

	PAREDES								
MATERIAL									TOTAL (m²)
TOTAL(m²)									

planilhas 6.1 - Cômputo de área para cada tipo de material de acabamento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1 kHz		2 kHz		4 kHz	
MATERIAL	ÁREA (m²)	$\bar{\alpha}$	$S\bar{\alpha}$	$\bar{\alpha}$	$S\bar{\alpha}$	$\bar{\alpha}$	$S\bar{\alpha}$	$\bar{\alpha}$	$S\bar{\alpha}$	$\bar{\alpha}$	$S\bar{\alpha}$	$\bar{\alpha}$	$S\bar{\alpha}$
$S\bar{\alpha}$ TOTAL													
RT_{60}													
$\bar{\alpha}$													

planilha 6.2 - Cômputo de $S_{\bar{\alpha}}$ total, RT_{60} e $\bar{\alpha}$ acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Não se preocupe ainda com seu preenchimento. Na sequência faremos um pequeno exercício, e eventuais dúvidas poderão ser esclarecidas.

A planilha mais completa de dimensionamento é como segue:

1. ACÚSTICA

comprimento da sala: _____ metros

largura da sala: _____ metros

altura da sala: _____ metros

superfície interna total da sala: _____ metros quadrados

volume interno da sala: _____ metros cúbicos

RT_{60} : _____ segundos, $\square$ medido, ou calculado por

$$\square \text{ Sabine } \left[\frac{0,161 \cdot V}{S \bar{a}} \right] \text{ ou } \square \text{ Norris - Eyring } \left[\frac{0,161 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{a})} \right]$$

2. D_2 _____ metros, com $N =$ _____

3. $Q_{\min}$ para $ALCONS\% = 15\%$

$$Q_{\min} = \frac{13,33 \cdot (D_2)^2 \cdot (RT_{60})^2 \cdot N}{V \cdot M} = \text{_____}, \text{ onde } M = \frac{1 - \bar{a}}{1 - \bar{a}_p}$$

4. ÂNGULOS DE COBERTURA NECESSÁRIOS

$\angle CH$ _____ $^\circ$, $\angle CV$ _____ $^\circ$

$$QG = \frac{180^\circ}{\arccos \left[\text{seno } \frac{\angle CH}{2} \cdot \text{seno } \frac{\angle CV}{2} \right]} = \text{_____}$$

5. MAXIMA D₂ QUE O Q ESCOLHIDO PERMITE ATINGIR

$$D_2 \text{ max} = \sqrt{\frac{Q \cdot V \cdot M}{13,33 \cdot (RT_{60})^2 \cdot N}} = \text{_____ metros}$$

Se o valor acima for inferior ao estabelecido em 2, acima, determine a quantidade S. $\bar{a}$ necessária usando a expressão Sabine

$$S\bar{a}_{min} = \frac{0,35 \cdot (D_2)^2 \cdot V}{Q} = \text{_____}$$

sendo D₂ aquela estabelecida em 2

D₂ final = _____ metros

6. D_c _____ metros

$$D_c = 0,141 \sqrt{\frac{Q \cdot S\bar{a} \cdot M}{N}} \quad (\text{Sabine}), \text{ ou}$$

$$D_c = 0,141 \sqrt{\frac{Q [-S \cdot \ln(1 - \bar{a})] \cdot M}{N}} \quad (\text{Norris} - \text{Eyring})$$

N altera a relação acima? Se a resposta for positiva, é preciso trabalhar com Q, ou com S $\bar{a}$, ou com ambos

7. NÍVEL DE RUÍDO AMBIENTE

NRA _____ dBA

8. RELAÇÃO S/R MÍNIMA _____ dB, PARA $AL_{CONS\%} = 15\%$

9. EAD _____ metros

EAD é maior que D_C ? Em caso positivo não é necessário Sistema de Reforço

L_P mínimo em EAD _____ L_P (NRA item 7 + relação S/R item 8)

10. D_S _____ metros

$D_S \leq EAD/2$? Em caso positivo é possível usar fonte única

11. D_1 _____ metros $\geq D_C$

12. NOM _____

13. CÁLCULO DAS ATENUAÇÕES

$$\Delta D_1 = 20 \log D_1 \text{ _____ } dB, \text{ ou}$$

$$\Delta D_1 = -10 \log \left[\frac{Q}{4 \pi (D_1)^2} \right] + A = \text{ _____ } dB$$

$$\Delta D_s = 20 \log D_s \text{ _____ } dB$$

$$\Delta D_2 = 20 \log D_2 \text{ _____ } dB$$

$$\Delta D_2 = -10 \log \left[\frac{Q}{4 \pi (D_2)^2} \right] + A = \text{ _____ } dB$$

$$\Delta EAD = 20 \log \text{ _____ } dB, \text{ ou}$$

$$\Delta EAD = -10 \log \left[\frac{Q}{4 \pi (D_2)^2} \right] + A = \text{ _____ } dB$$

$$\Delta NOM = \text{ _____ } dB$$

$$A = \frac{4N}{S\bar{a} \cdot M} \text{ (Sabine), ou } A = \frac{4N}{[-S \cdot \ln(1 - \bar{a})] \cdot M} \text{ (Norris - Eyring)}$$

14. CONDIÇÕES A SEREM SATISFEITAS

$$\Delta D_1 \min = \Delta D_5 + \Delta D_2 - \Delta EAD + 10 \log NOM + 6,0 \text{ dB (FSM)} = \text{_____ dB}$$

$$\Delta EAD \min = \Delta D_5 + \Delta D_2 - \Delta D_1 + 10 \log NOM + 6,0 \text{ dB (FSM)} = \text{_____ dB}$$

$$\Delta D_5 \max = \Delta D_1 + \Delta EAD - \Delta D_2 - 10 \log NOM - 6,0 \text{ dB (FSM)} = \text{_____ dB}$$

$$\Delta D_2 \max = \Delta D_1 + \Delta EAD - \Delta D_5 - 10 \log NOM - 6,0 \text{ dB (FSM)} = \text{_____ dB}$$

$$NOM \max = 10^{\left(10^{\frac{\Delta D_1 + \Delta EAD - \Delta D_2 - \Delta D_5 - 10 \log NOM - 6,0 \text{ dB}}{10}}\right)} = \text{_____}$$

Se desejado, as perdas podem ser convertidas em distâncias. A equação a ser utilizada dependerá da que foi empregada no cálculo da atenuação:

$$dist = 10^{\frac{\Delta}{20}} \text{ metros ou distância} = \sqrt{\frac{Q}{4\pi \left[10^{\frac{-\Delta}{10}}\right] - A}} \text{ metros}$$

15. NÍVEL MÁXIMO DE PROGRAMA DESEJADO EM D₂

_____ L_p

Esse nível satisfaz a relação S/R do item 8? Se não, é preciso ajustá-lo a D₂, ou tratar acusticamente o recinto para redução do NRA do item 7

16. EPR

Sensaxial do falante _____ L_p / 0 dBW/1 metro

TPM (margem para picos e transientes) _____ dB

NPD (nível de programa desejado - item 15) _____ L_p

$$EPR = 10^{\left[\frac{NPD + TPM + \Delta D_2 - Sensaxial}{10} \right]} = \text{_____ watts}$$

EPR TOTAL = EPR × QUANTIDADE DE FALANTES

17. NÍVEL MÁXIMO DE PROGRAMA

$$10 \log \frac{\text{watts}}{10} - \Delta D_2 + Sensaxial = \text{_____ } L_p$$

No caso de sistemas multivias, os passos 16 e 17 devem ser repetidos para cada uma das vias.

Vamos agora praticar tudo isso num exemplo?

Seja o caso de um auditório para 300 pessoas.

Suas dimensões:

- comprimento 30,0 metros • largura 17,0 metros • altura 8 metros
- As 300 cadeiras da plateia são medianamente acolchoadas.

As duas paredes laterais são de blocos de concreto pintados. As duas outras de blocos de concreto rústico. O piso é de concreto acarpetado (10 mm) em base de látex impermeável. O forro é de painéis Eucatex, 12,7 mm, espaçamento 5 cm, travertino.

Os coeficientes de absorção utilizados neste exemplo estão todos no apêndice F.

Começamos por preencher as planilhas 6.1 e 6.2, como segue:

	PAREDES								
MATERIAL	NORTE	SUL	LESTE	OESTE	PISO	TETO			TOTAL(m ²)
bl. concreto	-	-	240,0	240,0	-	-			480,0
idem, rústico	136,0	136,0	-	-	-	-			272,0
carpete	-	-	-	-	510,0	-			510,0
Eucatex	-	-	-	-	-	510,0			510,0
TOTAL(m ²)	136,0	136,0	240,0	240,0	510,0	510,0			1.772,0

		125 Hz		250 Hz		500 Hz		1 kHz		2 kHz		4 kHz	
MATERIAL	ÁREA (m ²)	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$
bl. concreto	480,0	.10	48,0	.05	24,0	.06	28,8	.07	33,6	.09	43,2	.08	38,4
idem, rústico	272,0	.36	97,9	.44	119,7	.31	84,3	.29	78,9	.39	106,1	.25	68,0
carpete	510,0	.09	45,9	.08	40,8	.21	107,1	.26	132,6	.27	137,7	.37	188,7
Eucatex	510,0	.30	153,0	.30	153,0	.25	127,5	.25	127,5	.16	81,6	.46	234,6
300 cadeiras	-	.23	69,0	.32	96,0	.38	114,0	.46	138,0	.39	117,0	.35	105,0
S α TOTAL			413,8		433,5		461,7		510,6		485,6		634,7
RT ₆₀			1,6		1,5		1,4		1,3		1,4		1,0
α			0,23		0,24		0,26		0,29		0,27		0,36

A seguir, utilizamos nosso roteiro para elaboração do projeto eletroacústico.

Ao final serão feitos comentários sobre os valores adotados.

1. ACÚSTICA

comprimento da sala: 30,0 metros

largura da sala: 17,0 metros

altura da sala: 8,0 metros

superfície interna total da sala: 1.772,0 metros quadrados

volume interno da sala: 4.080 metros cúbicos

RT_{60} : 1,4 segundos, $\square$ medido ou calculado por

$$\square \text{ Sabine } \left[\frac{0,161 \cdot V}{S \bar{a}} \right] \text{ ou } \square \text{ Norris - Eyring } \left[\frac{0,161 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{a})} \right]$$

2. D_2 25,0 metros, com $N = 1$

3. $Q_{\min}$ para ALCONS % = 15%

$$Q_{\min} = \frac{13,33 (D_2)^2 \cdot (RT_{60})^2 \cdot N}{V \cdot M} = 4, \text{ sendo } M = \frac{1 - \bar{a}}{1 - \bar{a}_p}$$

4. ÂNGULOS DE COBERTURA NECESSÁRIOS

$$\angle CH \ 90^\circ, \angle CV \ 40^\circ$$

$$QG = \frac{180^\circ}{\arccos \left[\text{seno } \frac{\angle CH}{2} \cdot \text{seno } \frac{\angle CV}{2} \right]} = 12,86$$

5. MÁXIMA D_2 QUE O Q ESCOLHIDO PERMITE ATINGIR

$$D_2 \text{ max} = \sqrt{\frac{Q \cdot V \cdot M}{13,33 \cdot (RT_{60})^2 \cdot N}} = 35,3 \text{ metros}$$

Se o valor acima for inferior ao estabelecido em 2 acima, determine a quantidade $S\bar{a}$ necessária usando a expressão Sabine

$$S\bar{a} \text{ min} = \frac{0,35 \cdot (D_2)^2 \cdot V}{Q} = \text{_____} \text{ sendo } D_2 \text{ aquela estabelecida em 2}$$

$$D_2 \text{ final} = 25,0 \text{ metros}$$

6. D_C 8,6 metros

$$D_C = 0,141 \sqrt{\frac{Q \cdot S\bar{a} \cdot M}{N}} \text{ (Sabine), ou}$$

$$D_C = 0,141 \sqrt{\frac{Q \cdot \{-S \cdot \ln(1 - \bar{a}) \cdot M\}}{N}} \text{ (Norris - Eyring)}$$

N altera a relação acima? Se a resposta for positiva, é preciso trabalhar com Q, ou com $S\bar{a}$, ou com ambos

7. **NÍVEL DE RUÍDO AMBIENTE**

NRA 36,0 dBA

8. **RELAÇÃO S/R MÍNIMA** 22,0 dB, PARA $AL_{CONS}\% = 15\%$

9. **EAD** 3,2 metros

EAD é maior que D_C ? Em caso positivo não é necessário Sistema de Reforço

L_P mínimo em EAD 58,0 L_P (NRA item 7 + relação S/R item 8)

10. **D_S** 0,5 metro

$D_S \leq EAD/2$? Em caso positivo, é possível usar fonte única

11. **D_1** 10,0 metros $\geq D_C$

12. **NOM** = 1

13. CÁLCULO DAS ATENUAÇÕES

$$\Delta D_1 = 20 \log D_1 = \text{_____} \text{ dB, ou}$$

$$\Delta D_1 = -10 \log \left[\frac{Q}{4\pi(D_1)^2} + A \right] = +18,2 \text{ dB}$$

$$\Delta D_s = 20 \log D_s = -6,0 \text{ dB, ou}$$

$$\Delta D_2 = 20 \log D_2 = \text{_____} \text{ dB, ou}$$

$$\Delta D_2 = -10 \log \left[\frac{Q}{4\pi(D_2)^2} + A \right] = +20,2 \text{ dB}$$

$$\Delta EAD = 20 \log EAD = +10,1 \text{ dB, ou}$$

$$\Delta EAD = -10 \log \left[\frac{Q}{4\pi(EAD)^2} + A \right] = \text{_____} \text{ dB}$$

$$\Delta \text{NOM} = 0,0 \text{ dB}$$

$$A = \frac{4N}{S\bar{a} \cdot M} \text{ (Sabine), ou } A = \frac{4N}{[-S \cdot \ln(1 - \bar{a})] M} \text{ (Norris - Eyring)}$$

14. CONDIÇÕES A SEREM SATISFEITAS

$$\Delta D_1 \text{ min} = \Delta D_S + \Delta D_2 - \Delta EAD + 10 \log NOM + 6,0 \text{ dB (FSM)} = +10,1 \text{ dB}$$

$$\Delta EAD \text{ min} = \Delta D_S + \Delta D_2 - \Delta D_1 + 10 \log NOM + 6,0 \text{ dB (FSM)} = +2,0 \text{ dB}$$

$$\Delta D_S \text{ max} = \Delta D_1 + \Delta EAD - \Delta D_2 - 10 \log NOM - 6,0 \text{ dB (FSM)} = +2,1 \text{ dB}$$

$$\Delta D_2 \text{ max} = \Delta D_1 + \Delta EAD - \Delta D_S - 10 \log NOM - 6,0 \text{ dB (FSM)} = +28,3 \text{ dB}$$

$$NOM \text{ max} = 10^{\left[\frac{\Delta D_1 + \Delta EAD - \Delta D_S - 10 \log NOM - 6,0 \text{ dB}}{10} \right]} = 6,5$$

Se desejado, as perdas podem ser convertidas em distâncias. A equação a ser utilizada depende da que foi empregada no cálculo da atenuação:

$$dist = 10^{\frac{\Delta}{20}} \text{ metros ou } dist = \sqrt{\frac{Q}{4\pi \left[10^{\frac{-\Delta}{10}} - A \right]}} \text{ metros}$$

15. NÍVEL MÁXIMO DE PROGRAMA DESEJADO EM D₂

85,0 L_p

Esse nível satisfaz a relação S/R do item 8? Se não, é preciso ajustá-lo a D₂, ou tratar acusticamente o recinto para redução do NRA do item 7

16. EPR

Sensaxial do falante 95,0 L_p/0 dBW/1 metro

TPM (margem para picos e transientes) 10,0 dB

NPD (nível de programa desejado - item 15) 85,0 L_p

$$EPR = 10^{\left[\frac{NPD+TPM+\Delta D_2 - Sensaxial}{10}\right]} = 105 \text{ watts}$$

EPR TOTAL = EPR x quantidade de falantes = 105 x 1 = 105 watts

Será utilizado amplificador com 200 watts

17. NÍVEL MÁXIMO DE PROGRAMA

$$10 \log \frac{\text{watts}}{10} - \Delta D_2 + Sensaxial = 10 \log \left(\frac{200}{10} \right) - 20,2 + 95,0 = 87,8 L_p$$

No caso de sistemas multivias, os passos 16 e 17 devem ser repetidos para cada uma das vias.

Comentários

- trabalhamos com RT₆₀ = 1,4 segundos, o que corresponde à banda de frequências centradas em 500 Hz, já que o sistema se destina a reforço de voz
 - admitimos M=1, pois se observarmos os coeficientes de absorção, veremos que não há diferença substancial entre o coeficiente médio de absorção da sala e os da audiência
 - vemos também que não há necessidade de cálculos separados para casa cheia e vazia, já que as cadeiras foram projetadas para absorver acusticamente de modo aproximado, se ocupadas ou não
- ### 6.5 ARQUITETURA DE SISTEMA E DIAGRAMA DE BLOCOS

A definição da arquitetura de sistema implica em estabelecer detalhadamente as características de cada peça de equipamento a ser utilizada. No caso de um mixer, por exemplo, não basta especificar somente sua capacidade, como 32x8x2. É preciso considerar e selecionar seus recursos de canais de entrada, suas saídas diretas e inserts, valendo o mesmo para subgrupos, para masters, para os recursos de monitoração, a acima de tudo, escolher as facilidades de encaminhamento dos sinais, aí incluídas as saídas auxiliares, de efeito, de foldback, e correspondentes retornos.

A mesma filosofia aplica-se a todos os demais aparelhos.

Estas definições, escolhas e opções devem levar rigorosamente em conta todos os ingredientes até aqui discutidos, e seus desdobramentos.

Quero lembrar que a noção de qualidade de um sistema ultrapassa, e em muito, a ideia isolada de resultados sônicos. Evidente que eles são importantes. Só que eles não ocorrem por acaso, nem são produto de mágica, mas sim porque o projetista pensou na mais simples arquitetura de sistema possível, consistente com toda a flexibilidade necessária.

Essa simplicidade é sempre um dos determinantes principais da confiabilidade global do sistema.

Talvez ainda mais importante que isso, é imprescindível que o sistema seja muito fácil de operar. O bom operador não é aquele que é hábil no manejo de centenas de controles, mas aquele que sabe avaliar bem o resultado sônico que obtém.

Numa competição de fórmula 1, os melhores resultados são sempre obtidos com conjuntos mais homogêneos. Com carros mais fáceis de manejar. Assim é com os sistemas de som. Os conjuntos que sujeitam o operador a dificuldades constantes e quase que intransponíveis, geralmente apresentam resultados deficientes. Mero acaso? Certamente não.

O que também não significa que funções e recursos devam ser sacrificados em nome da simplicidade.

Muitos projetistas de sistemas de áudio, inclusive eu, durante a coleta de informações para desenvolver e elaborar um projeto procuram conversar bastante com os futuros operadores, quando eles já estão designados, ou com quem os possa substituir. O objetivo é saber quais são as tendências locais, os hábitos pessoais de operação, com que tipos de mixer e de processadores os operadores estão mais habituados, e assim por diante.

Tais informações devem ser cuidadosamente estudadas, avaliadas e, sempre que possível, utilizadas nos projetos.

Voltando para o diagrama de blocos, algumas vezes ouvi perguntas que revelavam haver uma certa confusão entre este documento e a arquitetura de sistema. Tais confusões são plenamente justificadas, pois essas duas entidades são partes de um mesmo todo. Como software e hardware.

Este parece ser um momento muito oportuno para discutirmos a diferença.

O que se chama de diagrama de blocos é apenas uma forma, por sinal a mais usual, de representar graficamente o sistema em si. Num documento bem elaborado, a arquitetura do sistema deve ficar evidente.

Portanto, diagrama de blocos é apenas um desenho. Que deve mostrar todos os aparelhos do sistema a que se refere, e de que modo eles estão ou podem ser interligados.

O nome diagrama de blocos deve-se à maneira de representar os aparelhos, simbolizados

por blocos. Isto é, pequenos retângulos desenhados.

A confecção do documento não exige qualquer conhecimento de engenharia de áudio, nem dotes intelectuais avançados. Apenas habilidade para desenho, ou saber como lidar com programas de desenho por microcomputador. Pode-se ou não partir de um rascunho.

Já a elaboração da arquitetura do sistema exige muitos conhecimentos, além de muitos esforços. Dada a responsabilidade dessa tarefa, em geral é preciso criar alternativas, avaliá-las e fazer opções. O que pode ser mais ou menos trabalhoso. Geralmente mais.

A arquitetura de qualquer sistema deve ser sempre encarada tendo-se em vista o particular tipo de sistema, como discutido no capítulo 1.

6.5.1 Falantes e Amplificadores Para que possamos desenvolver um raciocínio a respeito de arquitetura de sistema, vamos imaginar um sistema de reforço de médio porte.

Antes mesmo de dar início ao dimensionamento, já deveremos ter determinado a quantidade, localização e tipo dos clusters que iremos utilizar para a frente da casa. Digamos que tenhamos pensado e dimensionado 3 clusters. Um central, e dois laterais. O esquerdo e o direito. Após alguns estudos, optamos por utilizar 4 vias em cada cluster.

O dimensionamento nos mostrará que tipos e quantidades de falantes deveremos empregar em cada via de cada cluster, e também, quais as potências elétricas necessárias para cada via.

Bem, é exatamente aqui que a arquitetura de sistema vai começar a ganhar forma. Pois na sequência, devemos estudar quais as potências que queremos para nossos amplificadores, e como eles vão energizar as vias de cada cluster.

Vamos fazer um exercício com dados puramente fictícios. Nossas vias são:

baixas frequências	até 200 Hz
médias baixas frequências	201 Hz a 750 Hz
médias altas frequências	751 Hz a 6 kHz
altas frequências	acima de 6 kHz

Cada um de nossos clusters tem a seguinte configuração:

baixas frequências	8 falantes de 18", 8 Ω cada, arranjos dois a dois em paralelo, formando 4 conjuntos de 4 Ω . Cada conjunto desses deve ser energizado com potência de 1.200 watts
médias baixas frequências	16 falantes de 12", 8 Ω cada, arranjos quatro a quatro em série-paralelo, formando 4 conjuntos de 8 Ω . Cada conjunto desses deve ser energizado com potência de 1.600 watts
médias altas frequências	8 cornetas assistidas por drivers de compressão, arranjas duas a duas em série, formando 4 conjuntos de 16 Ω . Cada conjunto desses deve ser energizado com potência de 100 watts
altas frequências	32 tweeters, arranjos quatro a quatro em série-paralelo, formando 8 conjuntos de 8 Ω . Cada conjunto desses deve ser energizado com potência de 160 watts

Diante dessa hipótese, poderíamos definir o seguinte conjunto de amplificadores para cada cluster:

baixas frequências	2 amplificadores de 1.200 + 1.200 watts @ 4 Ω
baixas frequências	2 amplificadores de 1.600 + 1.600 watts @ 8 Ω
médias altas frequências	2 amplificadores de 100 + 100 watts @ 16 Ω
altas frequências	4 amplificadores de 160 + 160 watts @ 8 Ω

Precisamos de um crossover de quatro vias para cada cluster. Então, sabemos que vias de cada crossover devem alimentar que amplificadores. E isso é o início da definição da arquitetura do sistema.

Tudo isso já pode ser passado para o papel. E então, estamos começando a elaborar o diagrama de blocos.

Para que possamos trabalhar em ordem, é sempre recomendável designar individualmente cada aparelho.

Podemos designar os falantes por cluster e por vias. Por exemplo: cluster esquerdo
EBF1 primeiro conjunto de baixas frequências EBF2 segundo conjunto de baixas frequências EBF3 terceiro conjunto de baixas frequências EBF4 quarto conjunto de baixas frequências EMB1 primeiro conjunto de médias baixas frequências EMB2 segundo conjunto de médias baixas frequências EMB3 terceiro conjunto de médias baixas frequências EMB4 quarto conjunto de médias baixas frequências EMA1 primeiro conjunto de médias altas frequências EMA2 segundo conjunto de médias altas frequências EMA3 terceiro conjunto de médias altas frequências EMA4 quarto conjunto de médias altas frequências EAF1 primeiro conjunto de altas frequências EAF2 segundo conjunto de altas frequências EAF3 terceiro conjunto de altas frequências EAF4 quarto conjunto de altas frequências EAF5 quinto conjunto de altas frequências EAF6 sexto conjunto de altas frequências EAF7 sétimo conjunto de altas frequências EAF8 oitavo conjunto de altas frequências cluster direito

DBF1 primeiro conjunto de baixas frequências DBF2 segundo conjunto de baixas frequências DBF3 terceiro conjunto de baixas frequências DBF4 quarto conjunto de baixas frequências DMB1 primeiro conjunto de médias baixas frequências DMB2 segundo conjunto de médias baixas frequências DMB3 terceiro conjunto de médias baixas frequências DMB4 quarto conjunto de médias baixas frequências DMA1 primeiro conjunto de médias altas frequências DMA2 segundo conjunto de médias altas frequências DMA3 terceiro conjunto de médias altas frequências DMA4 quarto conjunto de médias altas frequências DAF1 primeiro conjunto de altas frequências DAF2 segundo conjunto de altas frequências DAF3 terceiro conjunto de altas frequências DAF4 quarto conjunto de altas frequências DAF5 quinto conjunto de altas frequências DAF6 sexto conjunto de altas frequências DAF7 sétimo conjunto de altas frequências

frequências DAF8 oitavo conjunto de altas frequências cluster central

CBF1 primeiro conjunto de baixas frequências CBF2 segundo conjunto de baixas frequências CBF3 terceiro conjunto de baixas frequências CBF4 quarto conjunto de baixas frequências CMB1 primeiro conjunto de médias baixas frequências CMB2 segundo conjunto de médias baixas frequências CMB3 terceiro conjunto de médias baixas frequências CMB4 quarto conjunto de médias baixas frequências CMA1 primeiro conjunto de médias altas frequências CMA2 segundo conjunto de médias altas frequências CMA3 terceiro conjunto de médias altas frequências CMA4 quarto conjunto de médias altas frequências CAF1 primeiro conjunto de altas frequências CAF2 segundo conjunto de altas frequências CAF3 terceiro conjunto de altas frequências CAF4 quarto conjunto de altas frequências CAF5 quinto conjunto de altas frequências CAF6 sexto conjunto de altas frequências CAF7 sétimo conjunto de altas frequências CAF8 oitavo conjunto de altas frequências Compilados todos esses dados, será preciso definir quantos equipamentos de cada tipo precisamos.

Ainda não é necessário escolher marca e modelo de cada um deles. Mas será preciso especificar as características principais de cada aparelho.

6.5.2 Tipos e Quantidades de Mixers Continuando a pensar em nosso sistema hipotético, há um momento em que precisamos definir o mixer, ou mixers.

Numa certa etapa do projeto, inevitavelmente já reuniremos condições para enveredar seguramente por esse caminho.

Quanto aos mixers, as alternativas são: • especificar um só mixer capaz de fazer todo o trabalho • especificar um mixer exclusivo para as funções frente da casa e auxiliares, e especificar outro mixer exclusivo para a monitoração de palco • especificar um mixer exclusivo para as funções frente da casa e auxiliares, e especificar dois ou mais mixers exclusivos para a monitoração de palco • especificar um mixer exclusivo para a função frente da casa, especificar um ou mais mixers exclusivos para a monitoração de palco, e ainda, outro dedicada às gravações 6.5.2.1 O Mixer Capaz de Realizar Todo o Trabalho Um mixer capaz de realizar e concentrar todas as funções de um sistema será profuso em recursos, e mais difícil de operar do que qualquer outra alternativa.

Entretanto, é comum especificarmos um só mixer para sistemas de pequeno porte.

Mas nos sistemas médios e grandes, esta só será uma boa opção quando se tiver certeza de que as exigências da função monitoração de palco, ou outras, não irão comprometer a operação da frente da casa.

Outra realidade que nos obriga a optar por esta alternativa, mesmo sabendo que ela não é tecnicamente melhor, é a restrição orçamentária. Mas neste caso, é sempre possível e

desejável prever o sistema de maneira que a complementação possa ser feita futuramente, sem muitos problemas.

Dadas as funções esperadas de um mixer com atribuições de tarefas múltiplas, seus recursos serão profusos, e por vezes, difíceis de escolher.

seção de entrada

A primeira coisa a determinar para o mixer é a quantidade de canais. E que recursos queremos em cada canal. Para efeito de análise e escolha, uma listagem básica seria: • entradas - mike/line, line extra, estéreo, outras • seletor de entrada • insert - um ou mais • direct out

- alimentação fantasma + 48 volts • indicação visual de alimentação fantasma ligada • reversão de fase • controle de ganho e atuação quanto aos níveis • pad fixo - de quantos dB, e possibilidades de inserção de pads externos • filtro passa altas e tipo - fixo, de varredura, controle de slope, *etc.*

- equalizador - quantidade de bandas, tipos dos filtros, e atuação em cada banda, in/out, sinalização visual de equalizador inserido no circuito • mandadas auxiliares - quantidade, pre ou post fader, e comutação pre-post fader por grupos • mandadas de efeito - quantidade, pre ou post fader, e comutação pre-post fader por grupos • mandadas de foldback - quantidade, pre ou post fader, e comutação pre-post fader por grupos • pan • mute

- indicação visual de função mute acionada • PFL

- indicação visual de PFL acionado • medidor de nível de entrada - tipo e quantidade de leds • seção de endereçamento e tipo • fader e tipo - os melhores são os de curso de 100 mm Cada um desses itens precisa ser meticulosamente analisado.

Como o mixer vai realizar tarefas múltiplas, as mandadas devem ser pesquisadas com cuidado todo especial, e com muita calma. Tanto no que se refere às quantidades, quanto no que se relaciona com os endereçamentos.

Em princípio, as mandadas auxiliares serão utilizadas para sistemas cue, as mandadas de efeito para processadores externos de efeito, e as mandadas de foldback para monitoração de palco.

Como todas essas mandadas são muito semelhantes do ponto de vista de topologia de circuito, e também, de endereçamento, nem todos os mixers possuem todas essas designações. O que significa que, na prática, podemos utilizar quaisquer mandadas para quaisquer funções. Por exemplo, as mandadas auxiliares para monitores de palco. Entretanto, é imprescindível que tenhamos certeza das quantidades mínimas de mandadas que iremos precisar.

seção de subgrupos Além de definir a quantidade de subgrupos, também devemos nos

preocupar com os respectivos recursos.

Se queremos retorno de auxiliar para todos os subgrupos, se queremos inserts de subgrupo, se as funções de equalização são desejadas, além de outras, como pan, PFL, mute, indicador de nível de sinal de entrada, e endereçamento.

Também aqui, cada um desses recursos deve ser analisado individualmente.

Contar com um medidor VI dedicado para cada subgrupo é geralmente considerado essencial.

seção master

Diante de um sistema como aquele com os três clusters que falamos há pouco, o melhor seria que tivéssemos masters L, R e mono, este último para atender ao cluster central.

Com efeito, o master mono possibilita que o cluster central seja utilizado para algumas tarefas diferentes, entre elas: • elevados níveis de pressão sonora projetados a grandes distâncias • preenchimento central • reforço de voz

- efeitos especiais Todas as mandadas auxiliares 1 de cada canal de um mixer vão terminar no que se pode chamar de um master de saída das mandadas auxiliares 1 deste mixer. O mesmo ocorre com todas as demais mandadas auxiliares, bem como com as mandadas de efeito e de foldback.

Para fazermos nossas escolhas, devemos verificar o que cada mixer oferece.

Essas saídas podem ter desde masters de saída bem simples, como controles rotativos, chegando a coisas bem mais sofisticadas, como seções de saída de mandadas completas. Neste caso, cada um desses masters pode estar equipado com recursos mute, AFL, indicador de picos, e outros. Nos casos mais elaborados, o controle do nível de saída não é mais feito por potenciômetro rotativo, mas por fader deslizante, muitas vezes de 100 mm.

seção de monitoração Às vezes, esta seção é parte integrante da seção master.

Para a seção de monitoração, precisamos estabelecer o que e como queremos monitorar. O que monitorar depende de como utilizaremos o mixer.

Entretanto, é sempre preciso monitorar as saídas master L, R, e mono, se for o caso.

Muitos mixers possuem saídas para máquinas de gravação, usualmente em dois canais, além dos respectivos retornos. Esses retornos são usados durante seções de masterização, ou quando se quer empregar playback durante música ao vivo, especialmente em peças de teatro.

Por isso, é sempre desejável que tais retornos também possam ser monitorados.

As formas usuais de monitorar são através de fones de ouvido, e também, via caixas acústicas energizadas por amplificadores, estes alimentados pelas saídas monitor do mixer. Para os dois casos queremos sempre contar com os respectivos controles de nível no mixer.

seção de retorno

Na maioria dos mixers os retornos de auxiliar, de efeitos e de foldback vai ter diretamente aos subgrupos. Mas há mixers providos de seções específicas para esses retornos, que portanto são separadas, e com controles próprios. Nesses casos, é possível endereçar cada retorno para as saídas principais do mixer, e também, para cada subgrupo. E muitas vezes, também para as entradas da seção monitor.

Quando for assim, os controles mais comuns são um seletor para estabelecer se o nível a ser tratado é alto ou baixo, o pan, o endereçamento, o controle de nível de entrada, e o PFL. E há casos em que os controles de entrada são feitos através de faders de 100 mm.

seção talkback e de testes Na seção talkback há sempre um conector XLR de 3 pinos para o microfone, o respectivo controle de nível de sinal, e o endereçamento, sendo que enviar para masters e para subgrupos é obrigatório.

Geralmente há também uma tecla do tipo PTT (press to talk), de ação momentânea, normalmente retroiluminada. O operador só consegue endereçar com esta tecla apertada.

Com relação aos testes, muitos mixers são dotados de osciladores, ou de um oscilador capaz de gerar várias frequências, sendo que algumas dispõem de geradores de ruído rosa.

Os sinais de testes geralmente podem ser endereçados para os masters, e para cada subgrupo.

6.5.2.2 O Mixer Frente da Casa Quando o mixer só é utilizado para a frente da casa, os recursos discutidos anteriormente estarão distribuídos entre ele e a outro, ou outros mixers.

A análise é feita da mesma forma que fizemos, mas os recursos estarão divididos. Especialmente as mandadas, já que as mandadas de monitor serão feitas pelo novo mixer, ou mixers.

6.5.2.3 Monitor de Palco O mixer monitor de palco deve ter exatamente a mesma quantidade de canais que o mixer frente da casa. Os sinais provenientes dos microfones deverão ser esplitados em tantas partes quantas forem necessárias.

Agora, um insert e um direct out para cada canal são o mínimo obrigatório. Muitos mixers monitores de palco possuem dois e até três inserts em cada canal. O que possibilita utilizar vários processadores de sinal no mesmo canal.

O mais importante de tudo num mixer monitor de palco é a quantidade de mandadas diferentes. Que pode variar de 4 a 8 num sistema de pequeno porte, a 16 ou mais, em sistemas de grande porte. A ideia é que cada músico tenha sua própria mixagem de sinais em sua caixa monitora de palco, spot ou in-ear.

Realmente, as mixagens de cada mandada são customizadas para cada músico ou pequeno grupo deles.

Além destas, deverão haver mixagens para as caixas side fill, usualmente localizadas uma de cada lado do palco.

Cada mandada deve ter seu próprio insert. Embora seja uma praxe usar as mandadas de retorno pre fader, é sempre conveniente que todas as mandadas tenham possibilidade de comutação pre-post fader.

A função talkback para cada mandada é um recurso indispensável.

Os recursos de monitoração devem encompassar o modo AFL, que será interrompido pelo PFL, para verificações rotineiras de sinal. Usualmente, isso é feito através de fones de ouvido e de uma pequena caixa acústica localizada nas proximidades do mixer.

O mixer de monitoração de palco deve ficar sempre nas proximidades do palco, de modo que quaisquer ajustes, inclusive os cosméticos, sejam feitos pelo operador diante de quaisquer solicitações nesse sentido.

Muitas pessoas imaginam que ter um mixer exclusivo para a monitoração de palco é uma sofisticação dispensável. Mas isso não é verdade. Dessa forma, o operador do mixer frente da casa pode se concentrar em obter som de mais qualidade, como a plateia deseja ouvir.

E por outro lado, há alguém se preocupando com tudo o que se refere à monitoração de palco. Que é algo que exige muita atenção do operador. Tanto que, a maioria dos sistemas móveis é assistido por um engenheiro de som apenas para cuidar da configuração da parte de monitoração de palco. E com isso, obter as mixagens desejadas.

Os sistemas de monitoração pessoal em palco ganharam muito espaço nestes últimos anos. Salvo exceção, reduzindo drasticamente a arquitetura de uso de mixer monitor de palco. Fiz questão de deixar as linhas acima porque vejo na prática que muitos sistemas ainda convivem com a forma de monitorar em palco com um segundo mixer.

O uso dos sistemas pessoais é muito direto e sua especificação não deve trazer praticamente nenhuma dificuldade. Talvez o que mais provoque indagações entre os projetistas e usuários é que sistema deve ser escolhido.

O começo de tudo é por sistemas com fio ou sem fio.

Como mencionei no capítulo 1 desta obra, a questão da disponibilidade de frequências para microfones tende a se tornar cada vez mais crítica. O motivo é simples. Em comparação com as receitas financeiras geradas pelas empresas provedoras de telefonia celular, a venda de microfones sem fio não tem a menor chance. Claro, sem esquecer a demanda sempre crescente das emissoras de TV e até mesmo de empresas como Microsoft e Google, que esperam poder usar rechonchudas fatias do espectro de rádio para oferecer seus serviços.

Logo, os governos de todos os países do planeta estão muito mais voltados para resolver os problemas que lhes rendem mais acreditando ou esperando que os problemas menores acabam sendo resolvidos na esteira das soluções maiores. De certa forma isso é verdade. Por exemplo, o mesmo segmento de espectro que há poucos anos permitia usar dois ou no máximo três microfones agora possibilita usar uma dúzia deles.

Os microfones sem fio operam em frequências usadas por emissoras de TV que numa determinada região encontram-se vagas. São os chamados “espaços brancos”. O que ocorre nos Estados Unidos tende a ocorrer em muitos outros países, com um certo atraso. Que, por sinal, é cada vez menor. E nos Estados Unidos tem havido uma progressiva redução dos canais de TV. Logo, uma redução correspondente dos espaços brancos.

Como se pode avaliar, a situação torna-se mais crítica nas grandes cidades, onde a disputa por frequências do espectro é muito mais intensa que em regiões pouco densas.

Um dos grandes complicadores de toda essa situação é a operação de rádios e de microfones clandestinos. Mesmo nos Estados Unidos isso é verdadeiro. Como no Distrito do Teatros da Broadway em Nova Iorque, em concertos a céu aberto, em igrejas e escolas, e mesmo nas salas de reunião do FCC, que é o órgão regulador do uso do espectro. Imaginem agora com que intensidade esse uso clandestino de frequências ocorre no Brasil.

É por essas e por outras que muitos especialistas em coordenação de frequências de microfones recomendam aos usuários de microfones sem fio. Levem alguns microfones com fios de reserva para quaisquer eventualidades.

Pessoalmente entendo que, mesmo com a luta interminável e cada vez mais áspera por porções do espectro, que é finito, o problema das frequências dos futuros microfones sem fio será resolvida no bojo do impressionante desenvolvimento semelhante que ocorre com as telecomunicações e com a Internet, especialmente à luz das previsões que em 2017 o tráfego nas redes globais será superior a 1,4 zetabytes (10^{21} bytes) e que América do Norte sozinha irá gerar tráfego diário de IP (Internet Protocol) de 1,3 exabytes (10^{18} bytes) Assim, conceitos como M2M (Machine to Machine Communication), FPRF (Field Programmable RF Transceiver, SDR (Software Defined Radio), SDRs inteligentes, pois que equipados com sensores inerciais, IoT (Internet of Things) e, principalmente, o Rádio Cognitivo. Penso mesmo que este acrescenta uma nova dimensão de complexidade aos rádios convencionais. Trata-se de um sensoramento que reconhece que porções do espectro de RF são usadas com pouca regularidade. Segue que transceptores muito ágeis podem alterar a frequência de operação “on the fly”. Com o uso dessa tecnologia um nó de transmissão encontra um canal livre e comunica ao receptor sobre esse canal, bem como sobre detalhes da modulação utilizada, de sorte que a comunicação torna-se perfeitamente possível.

Esse movimento desenvolvimentista é tão importante que praticamente todas as regiões do mundo têm reconhecido que a necessidade de mais flexibilidade nos sistemas de rádio é mandatória. São opiniões de governos, de operadores e de fabricantes. O que praticamente assegura investimentos suficientes e, finalmente, o sucesso da empreitada.

Resolvida a questão do sem fio ou com fio dos monitores de palco, o próximo passo é a definição do sistema a ser usado. Quase todos eles utilizam sinais digitais transitando por cabos UTP, STP ou equivalentes. Que podem ou não ser parte de redes Ethernet. Portanto, a escolha converge mais para marca, modelo e preços.

A preferência geral no Brasil parece ser por marcas bem estabelecidas no país, já que consultas técnicas, contatos em geral e assistência técnica pós vendas tendem a ser um aspecto positivo para os usuários. Além disso, as empresas que aqui estão, ou de corpo presente, ou através de representações de porte, são as que mais se interessam pelo mercado e parecem merecer tratamento recíproco dos clientes.

O contraponto para tudo isso são produtos chineses, relativamente baratos que, na opinião de muitos, implicam num certo risco que, para alguns casos chega a valer a pena. Essa é uma questão pessoal que sequer pretendo comentar.

6.5.2.4 Gravação Em casos de gravações frequentes, pode ser praticamente necessário usar, além do mixer frente da casa, e de uma ou mais monitores de palco, um outro mixer dedicado apenas às gravações.

Este novo mixer também deve ter a mesma quantidade de canais que os demais mixers.

As saídas para gravação determinarão a quantidade de pistas possíveis numa gravação multipistas. Naturalmente, cada pista deve ter seu próprio retorno, para efeito de monitoração.

Como este mixer poderá ser utilizado para uma seção exclusiva de gravação, mesmo que não haja reforço da música ao vivo, é preciso que haja suficientes mandadas, agora chamadas cue. Que servem para a monitoração dos músicos, geralmente exercida através de fones de ouvido.

Também é preciso que este mixer possua recursos para o mixdown. Saídas para máquina de duas pistas e seu retorno para efeito de monitoração.

Os demais recursos referem-se à inserção de processadores nos circuitos dos canais e dos subgrupos.

6.5.3 Periféricos
6.5.3.1 Para Frente da Casa Há processadores para um mixer frente da casa que devem ser alocados aos canais e aos subgrupos, através dos inserts, e outros, que são alocados após as saídas principais do mixer, já configurando a arquitetura do sistema.

Entre os processadores alocáveis aos canais estão os de-essers, os harmonizers e exciters, os noise gates, os compressores e os processadores de efeito. E aos subgrupos os noise gates, os compressores, os processadores de efeito e os equalizadores. Mas isto não é uma regra, apenas um ponto de partida.

Para se pensar nos processadores utilizados com canais e subgrupos, podemos começar com a seguinte relação: noise gate

Todas as peças de bateria acústica, microfones esquerdo e direito da guitarra, e vocais equalizador

Microfones superior e inferior da caixa da bateria, mix de saída esquerdo e mix de saída direito de baterias eletrônicas, direct box de saída de bumbos eletrônicos, direct box de sintetizador de baixos, microfones do vocal principal limitador

Microfones superior e inferior da caixa da bateria, direct box de saída de bumbos eletrônicos, direct boxes de saída de sintetizadores, vocais principais, e background de quaisquer vocais compressor

Microfones overhead de baterias acústicas, baixos elétricos supressor de realimentação Quaisquer microfones, especialmente os de vocais harmonizer e exciter Microfones do vocal principal, e de quaisquer outros vocais Os processadores que seguem o mixer são os expansores, os compressores, os limitadores, os supressores de realimentação, os harmonizers e exciters, os equalizadores gráficos e paramétricos, responsáveis pela equalização da casa, os filtros de formatação de resposta de frequência, e outros.

Pensando nos processadores alocáveis aos canais e aos subgrupos, a primeira coisa a saber é a quantidade total de processadores que serão de fato necessários. Para grandes quantidades de processadores, de canais e de subgrupos, a arquitetura do sistema explode em incontáveis alternativas.

Portanto, podemos encarar a arquitetura de duas maneiras.

Nos casos de poucos processadores, canais e subgrupos, é possível utilizar apenas cabos que ligam os inserts de canais e de subgrupos nas entradas e saídas dos processadores. Estes devem estar fisicamente arranjados em racks de efeito, que por razões óbvias ficam localizados nas imediações do mixer.

Nos casos mais complexos, pode-se pensar em utilizar uma matriz de “n” entradas e “m” saídas, digitalmente controlada, ou sistemas patchbay. Das duas formas é preciso que tenhamos todas as entradas e todas as saídas a utilizar ligadas ou na matriz ou no sistema patchbay, de sorte a facilitar quaisquer ligações. Que podem ser feitas em quaisquer combinações. Assim, cada insert do mixer, com seus pontos send e receive, bem como as entradas e saídas de todos os processadores, devem ser levados à matriz, ou às régua de patching.

No caso de configurações múltiplas, ou de se pretender usar ora parte dos processadores que vão depois do mixer, e ora outra parte, também será possível levar as entradas e saídas correspondentes para a matriz, ou para as régua de patching. Do contrário, tudo terá que ser feito através de reposicionamento físico de cabos.

Todas essas possibilidades devem ser estudadas pelo projetista, que em última análise definirá quais são as formas de viabilizar técnica e comercialmente os meios que o operador contará para colocar em prática a arquitetura de sistema, com suas múltiplas facetas.

6.5.3.2 Para Monitor de Palco No caso dos mixers monitores de palco também há processadores que devem ser alocados aos canais e aos subgrupos, através dos inserts, e outros, que são alocados após as saídas das mandadas do mixer.

Um ponto de partida para estabelecer que processadores são desejados para inserção nos canais e nos subgrupos, é considerar a mesma coisa que vimos para os mixers frente da casa, e mais os seguintes processadores: de-essers, delayers, reverbers e processadores digitais de efeito. Mas novamente, isto não é uma regra.

O rack, ou racks contendo esses processadores, são os racks de efeitos, que devem ficar nas imediações do mixer monitor de palco.

Na maioria das vezes se prefere que as alternativas de ligação sejam possíveis através das régua de patch. E eventualmente, através de matrizes digitalmente controladas.

Embora possam ser utilizados vários processadores de sinal após as saídas das mandadas dos mixers monitores de palco, geralmente o único tipo de processador que realmente fica entre as saídas das mandadas e as entradas dos amplificadores monitores de palco, são os equalizadores. Que podem ser gráficos, paramétricos, ou ambos.

As caixas acústicas monitoras de palco podem ser de uma ou de duas ou mais vias. Para qualquer coisa além de uma via, é preciso inserir crossovers entre os equalizadores e os amplificadores. Mas a melhor alternativa é mesmo o in-ear. Com ou sem fio.

6.5.3.3 Para Gravação Os processadores empregados nos mixers de gravação são todos os discutidos anteriormente, e eventualmente, outros. Para as gravações, os processadores são inseridos nos inserts de canal e/ou de subgrupo.

Os processamentos tanto podem ser feitos na etapa de gravação em si, ou posteriormente, durante as seções de pré masterização. Esta última alternativa é considerada mais segura, porque por exemplo, aplicar um noise gate durante a gravação de um vocal implica no risco de picotar parte do material gravado. Por outro lado, gravar o vocal sem qualquer compressão é correr o risco de obter material com partes distorcidas por saturação do meio de gravação.

Nos casos de estúdios, ou são usadas réguas de patch, ou matrizes avançadas, ou ainda, mixers com poderosos recursos de programação de configurações diferentes. E automação.

Nos casos dos mixers utilizados para gravação em sistemas de reforço, o mais comum é fazer as reconfigurações desejadas através de réguas de patch.

6.5.4 A Sequência dos Periféricos Quando se pretende utilizar uma grande quantidade de processadores, quer inseridos em canais, quer inseridos em subgrupos, ou mesmo numa sequência Daisy chain, a probabilidade é de que tenhamos alguns aparelhos ligados em série, numa sequência.

Já vimos até que essa é uma prática comum em áudio. Por outro lado, vamos ver agora algumas consequências diretas disso.

6.5.4.1 A Técnica do Expansor Antes do Compressor O uso dos compressores se faz para eliminar determinados picos musicais. Uma vez obtido esse objetivo, é possível trabalhar com um nível médio de programa superior ao que seria o do sinal antes do processamento. Consequentemente, uma vez comprimidos os sinais, é possível recompor o ganho. O que se faz na grande maioria das vezes. Mas o resultado direto disso é que o nível dos ruídos também aumenta.

Uma das formas de se evitar esse grande inconveniente é inserindo um expansor antes do compressor, de tal sorte que a expansão seja aplicada apenas abaixo de um certo limiar, aproximadamente coincidente com o nível de ruído.

Dessa forma, quando os sinais expandidos são levados ao compressor, os benefícios da compressão são obtidos sem os efeitos colaterais de aumento de ruídos.

Essa técnica complementar é muito útil em diversas aplicações.

A mais evidente delas é em locais fechados, onde os níveis de ruído ambiente são controlados, e usualmente muito reduzidos.

6.5.4.2 Noise Gate x Compressor Vimos no capítulo 4 que uma das principais utilizações dos noise gates é evitar os ruídos amostrados por microfones empregados na captação de voz de locutores ou cantores. Vimos também que quando o processador impede totalmente a passagem dos ruídos, a brusca mudança de estado dos circuitos produz ruídos audíveis.

Ou seja, o problema criado é tão ruim quanto aquele eliminado pelo benefício de utilizar o processador.

A saída é utilizar processadores equipados com recursos de atenuação, e utilizar atenuação relativamente moderada.

Quando os noise gates são seguidos de compressores, dependendo dos ajustes dos parâmetros de ambos, é possível que os compressores, dependendo do material que recebem do noise gate, e após efetuar a compressão e reconstituir os sinais, subam os níveis dos ruídos antes reduzidos pelos gates para seus níveis originais, e até piores.

E assim, não saímos do lugar.

E ainda gastamos dois processadores.

Portanto, dependendo de como se pretende ajustar um noise gate seguido de um compressor, e os parâmetros do próprio compressor, talvez seja melhor opção processar inicialmente os sinais com compressão, e então, com o noise gate.

O que significa que na arquitetura do sistema o noise gate poderá aparecer depois do compressor.

6.5.4.3 Harmonizer, Exciter e Efeitos x Compressor Também vimos no capítulo 4 que os harmonizers e exciters, além de muitas outras formas de processamento de sinais, operam gerando material de altas frequências, geralmente com ataques muito rápidos.

Ora, é fácil perceber que, se esses processadores são seguidos de compressores, dependendo dos ajustes dos parâmetros destes últimos, uma boa parte desse material de alta frequência e de ataque muito rápido pode ser bastante atenuada, e por vezes, suprimida ao limite da não audição.

Embora qualquer engenheiro de som experiente em campo recomende que os harmonizers e exciters sejam utilizados com muita prudência, os resultados sônicos devem decorrer sempre de atitudes conscientes, e não de eventualidades e ocorrências fortuitas, de difícil identificação, e em muitos casos, de coisas simplesmente não identificáveis.

Por isso mesmo, cada um desses detalhes deve ser considerado durante a fase de elaboração da arquitetura do sistema.

6.5.4.4 Harmonizer, Exciter e Efeitos x Equalizador Veremos adiante que os equalizadores utilizados para produzir a equalização da casa não devem ser muito exigidos em seus controles, o que provavelmente indicaria problemas sistêmicos de outras origens.

Mas em grande parte dos sistemas, vários dos controles desses equalizadores são levados a suas posições extremas. Ou quase.

Por exemplo, em sistemas alugados, onde o locador muitas vezes não tem sequer a oportunidade de conhecer o local onde seu equipamento irá funcionar.

Nesses casos, os equalizadores que seguem harmonizers e exciters podem produzir resultados semelhantes aos analisados no item anterior. Outras vezes, os controles dos

equalizadores são utilizados com elevado grau de reforço, reforçando em demasia os efeitos dos harmonizers e excitors.

Com frequência os efeitos são cumulativos. Isto é, algumas frequências produzidas pelos harmonizers serão atenuadas pelos equalizadores, e outras muito reforçadas. Tudo dependendo de como são utilizados os controles dos equalizadores. Os resultados sônicos poderão ser realmente muito estranhos.

Diante de tais situações, uma das prováveis saídas é ligar os harmonizers, excitors e efeitos após os equalizadores.

E usar os controles destes com extremo cuidado, para evitar os problemas que os equalizadores supostamente deveriam resolver.

6.5.4.5 Compressor x Equalizador

Outras vezes os conflitos se dão entre compressores e equalizadores.

Imagine o caso de um sistema em que o equalizador segue o compressor. Para fazer a equalização, os compressores ficam temporariamente fora do sistema.

E no caso real, quando os compressores voltam a ser utilizados, dependendo dos ajustes de seus parâmetros, podem reduzir picos do programa em frequências que serão a seguir atenuadas pelos equalizadores.

O resultado disso pode chegar a comprometer, especialmente quando desequilíbrios tonais de certa monta são constatados.

Observe que se a equalização é feita sem os compressores no circuito, e esta é a regra, mesmo que os equalizadores venham antes dos compressores, a compressão poderá resultar seletiva em frequência, sem que esse seja um dos objetivos do projetista. Tudo dependendo de como serão ajustados os filtros dos equalizadores.

6.5.5 Necessidade de Diferentes Respostas de Frequência

Veremos adiante que as respostas de frequência não são igualmente formatadas para um mesmo sistema, dependendo apenas de cada tipo diferente de programa. Isso significa que, ou é preciso utilizar diferentes filtros de formatação para cada tipo de programa, ou devemos ter equalizadores dedicados para cada uma destas formatações. Ou ainda, será preciso alterar os ajustes dos filtros ou dos equalizadores.

Se diferentes filtros ou equalizadores fazem parte de diferentes cadeias de áudio, então tudo o que deve ser feito é selecionar a cadeia dedicada para cada aplicação, e rejeitar as demais. Mas em geral, isso significa desperdício, porque equipamentos semelhantes podem ser duplicados ou multiplicados apenas porque cada qual deve ter ajuste diferente dos outros.

Uma das saídas para isso é utilizar filtros e equalizadores com recursos de memória, que podem conter as diferentes formatações para as aplicações desejadas. Entretanto, filtros e equalizadores com tais recursos são geralmente muito caros. Outra saída é utilizar filtros e equalizadores com aplicações específicas, entretanto, sem duplicar ou multiplicar o restante dos equipamentos.

Neste caso, é preciso prever uma maneira conveniente de introduzir este ou aquele aparelho na cadeia de áudio, que agora tende a ser aproximadamente a mesma para qualquer tipo de programa.

E aqui entram novamente em cena os recursos dos patchbays, ou das matrizes.

Estamos outra vez falando da arquitetura de sistema.

6.5.6 A Flexibilidade dos Patchbays Com efeito, os patchbays aliam elevada flexibilidade e custo reduzido, para possibilitar que os sistemas sejam manejados com velocidade e segurança. Senão, vejamos.

6.5.6.1 Substituições Nos sistemas mais complexos, com grande quantidade de equipamentos, a confiabilidade do todo fica cada vez mais comprometida exatamente em função dessa quantidade.

Uma das maneiras de amenizar esse problema é dispor de aparelhos reserva, de tal maneira que possam substituir aqueles que venham a apresentar defeito.

Mas como fazer a substituição?

Uma das formas é manualmente. Retira-se o aparelho com defeito do rack, e em seu lugar é instalado o reserva.

O cabeamento apenas passa do item defeituoso para o reserva. Isso também pode ser feito sem que o aparelho defeituoso seja retirado do rack. Mas nesse caso, a cabeação é geralmente curta para a interligação, que assim, resulta mais longa.

Podendo ser até impossível utilizar os mesmos cabos.

Bem mais fácil do que tudo isso é prever um aparelho reserva para cada grupo de aparelhos iguais. O reserva já fica permanentemente instalado no rack, e cabeado, como os outros, através de um ou mais patchbays.

Assim, no caso de uma eventual necessidade de substituição, tudo o que é preciso fazer é inserir alguns cordões na régua, e assunto resolvido.

Infelizmente, essa técnica não é de todo aplicável aos amplificadores, já que as saídas destes devem ser conectorizadas com terminais de elevada amperagem, o que não é caso dos conectores dos patchbays.

Assim, para os amplificadores, a utilização dos patchbays deve ser complementada por

réguas de patch próprias para as saídas dos amplificadores, por exemplo, com emprego de conectores Speakon.

6.5.6.2 Reconfigurações Reconfigurações em geral, incluindo-se as de inserções nos mixers de quaisquer tipos, introdução e retirada de processadores, e muitas outras, tornam-se bem mais rápidas e fáceis quando se prevê antecipadamente que isso seja feito através de régua de patch.

6.5.6.3 Monitoração Atualmente, fontes de programa, mixers, processadores de sinal, amplificadores, e praticamente todos os aparelhos de áudio possuem recursos de monitoração. Em forma de leds, de indicadores, e tantos outros.

Ainda assim, a prática mostra que há sempre necessidade de se monitorar auditivamente entradas e saídas de aparelhos, por exemplo, para localizar defeitos em cabos e conectores.

Uma das formas de se ter acesso a entradas e saídas é usando régua de patch.

Com elas, a identificação e localização de defeitos, ou mesmo de simples rotas, torna-se sobremaneira simplificada.

6.5.6.4 Instrumentação Porque as régua de patch facilitam o acesso a entradas e saídas de aparelhos em geral, é possível utilizar este recurso para se fazer medições com instrumentação especializada. A exemplo de medições de voltagem, de corrente, de impedância, de simples presença ou ausência de sinais, além de análises de espectro em tempo real, e muitas outras.

6.5.7 Condicionantes Falamos antes de condicionantes que nos limitam escolher livremente as arquiteturas de sistema.

Exemplos de condicionantes são o orçamento limitado, a falta de espaço na cabine técnica, que pode exigir moderação até nas quantidades de itens, e a inexistência total ou parcial da infraestrutura, sem possibilidades de complementação. Como dutos para portar cabos de áudio de um para outro local.

Além de definir todos os equipamentos, é preciso estudar uma forma preliminar de interligá-los de maneira factível, com encadeamento lógico e numa sequência racional, de modo tecnicamente correto, e de sorte que ainda resulte uma operação bastante simples.

Com o mínimo possível de comutações, necessidades de arranjos e de adaptações, e assim por diante.

O que quer dizer que devemos pesquisar com muita atenção todos os possíveis cenários de uso do sistema, e atendê-los com o mínimo de modificações ou alterações, especialmente as provisórias. Que de preferência serão evitadas.

Mas ainda não é tudo. Assim como os aparelhos, os acessórios também deverão ser especificados. A exemplo de direct boxes, splitters de microfones, transformadores de balanceamento, réguas de patch e cordões, matrizes, *etc.*

Finalmente, os recursos operacionais podem ser estabelecidos sem hesitação nesta etapa.

Quantas serão as tomadas de microfones em palco (é sempre prudente especificar mais do que será preciso), como distribuí-las, onde localizá-las, e até mesmo de que tipo serão.

O ideal é ir colocando cada uma dessas ideias no papel.

O que de início pode parecer um simples esqueleto mal alinhavado, após algum tempo já terá as características do produto final.

Que pode ser em forma de rascunho.

Mas em geral é isso o que dá origem ao diagrama de blocos.

Que pode ser considerado tão melhor quanto mais fiel e detalhadamente refletir a arquitetura do sistema, com todas suas variáveis.

Mais recentemente os blocos do diagrama têm sido substituídos por formas pictoriais, como mostra a figura 6.67.

Aí está um diagrama geral, não detalhado. No documento detalhado devem ser indicadas todas as particularidades a que se chega com a definição da arquitetura.

É possível que após a fase de escolha das marcas e modelos de aparelhos, e de termos pensado e repensado em como interligá-los, que a própria arquitetura do sistema, e por via de consequências o diagrama de blocos, tenham que sofrer alguns retoques.

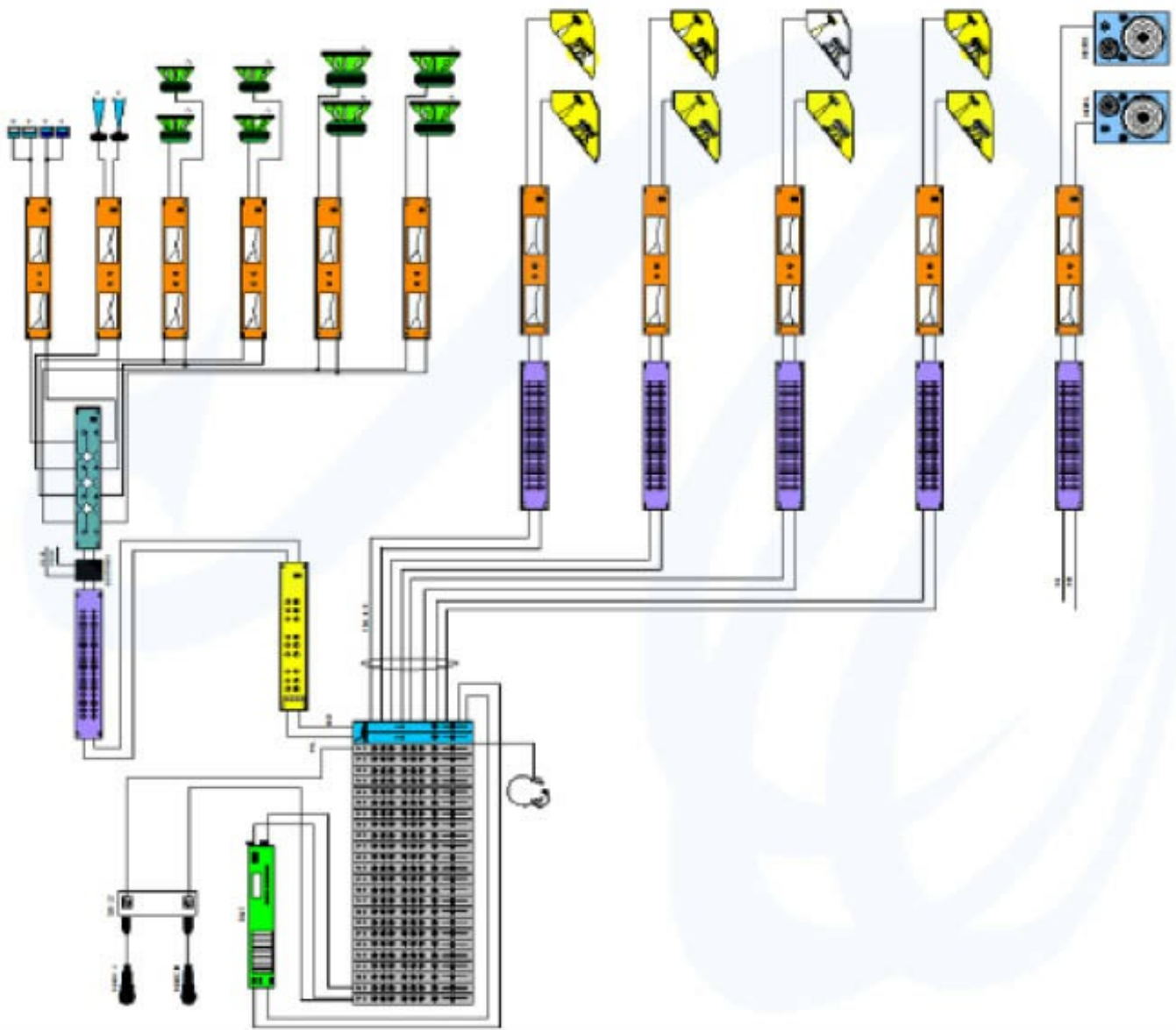


figura 6.67 diagrama de blocos de um sistema de sonorização hipotético, do tipo pictorial acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 6.6 AESCOLHAE INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Naturalmente, a escolha dos equipamentos de um sistema é algo que deve mesmo ser feito na etapa de projeto. Definitivamente, esta é uma etapa muito delicada em qualquer projeto eletroacústico. Qualquer pequeno erro pode conduzir a penalidades pesadas.

Para efeito de escolhermos equipamentos para quaisquer projetos eletroacústicos, o melhor a fazer é começar dividindo o todo em partes. Essas partes são: transdutores e acessórios, aparelhos eletrônicos, ferragens, fios e cabos, materiais de instalação e diversos.

Antes de nos aprofundarmos mais nisto, será interessante que relacionemos quais são os principais critérios que devemos necessariamente considerar durante a escolha dos equipamentos.

6.6.1 Especificações e Recursos Seja lá quais forem os produtos que viermos a escolher, cada um deles deverá apresentar, no mínimo, as especificações e recursos anteriormente estabelecidos em projeto.

Ou será preciso darmos um passo atrás, e revermos nossas especificações.

Quanto aos recursos, existem aqueles que são praticamente obrigatórios, e outros que são apenas desejáveis. Quanto aos primeiros, é essencial que nossas escolhas os incluam. Com relação aos últimos, poderemos sobreviver sem eles. Portanto, prevalecerá o bom senso. Será bom que os tenhamos, mas geralmente pior se tivermos que atrasar muito toda uma instalação por falta deles.

Alguns itens poderão ter que ser customizados. Procure evitá-los ao máximo. Eles são trabalhosos, exigem esforços de engenharia geralmente necessários em outras atividades, e via de regra acabam pouco documentados. Sem falar no inconveniente de uma possível manutenção difícil no futuro.

6.6.2 Padrão de Qualidade O padrão de qualidade de um produto não está necessariamente atrelado a seu preço.

O que não é o mesmo que dizer que quanto mais barato o produto, melhor. Sabemos que a regra é geralmente o contrário.

Entretanto, neste momento, o nosso conceito de melhor deve abranger a adequação do produto ao espírito do projeto. E podemos ter certeza que quanto maior for essa adequação, melhor o parâmetro qualidade que procuramos. Independentemente de preços.

Além disso, devemos procurar produtos com base em suas notórias qualidades.

O que podemos saber por informações de terceiros, por experiência própria em outros projetos, por avaliações feitas de diversas formas, inclusive por visitas aos fabricantes, e por leituras de testes e de resultados efetivos de aplicações.

Algumas revistas especializadas, como a Sound and Communications e a Sound and Video Contractor, ou carinhosamente, SVC, informam até quais são os produtos campeões de venda em suas respectivas categorias.

Nossa querida revista Música e Tecnologia vem se destacando na apresentação de testes sérios e competentes, de produtos nacionais e importados.

A leitura transparente dos folhetos e catálogos dos fabricantes também é um elemento de alto teor informativo. Dúvidas podem ser complementadas diretamente com os próprios fabricantes. Por telefone, fax ou pessoalmente.

6.6.3 Preços

Este é um dos fatores determinantes da escolha. Dependendo de termos uma ideia do orçamento de nosso cliente, também saberemos os caminhos a seguir.

A maioria dos clientes da Cysne Sound Engineering é bastante sensível a preços. Mas também há uns poucos clientes que estão dispostos a pagar o melhor que o dinheiro pode

comprar. E entre esses extremos está a maioria deles.

Muitas vezes deixamos de contratar com clientes que só olham para o preço. E dizemos que os únicos sistemas caros são aqueles que não funcionam. Ou mesmo os que não atendem as necessidades.

E esses sistemas “caros” são facilmente vendidos, porque os respectivos orçamentos podem ser extraordinariamente baixos.

Devemos estar muito atentos para um detalhe. A tecnologia tem possibilitado que os produtos sejam cada vez mais baratos, e geralmente melhores. Se considerarmos que a concorrência no exterior é cada vez mais intensa, podemos concluir que os preços serão reduzidos dia a dia.

Acompanhem lendo revistas, como as citadas. A SVC é distribuída gratuitamente para quem tem interesse. E há diversas que informam sobre novos lançamentos.

6.6.4 Familiarização do Cliente com o Produto e Padronização Temos o hábito natural de escolher produtos com os quais estamos familiarizados. Quando trabalhamos para terceiros, é neles que devemos pensar. E tentar escolher os produtos com os quais eles estão familiarizados. Especialmente se os históricos desses produtos são recomendáveis.

Além disso, alguns clientes, mesmo solicitando sistemas isolados, podem possuir muitas instalações, o que merece uma consideração toda própria sobre a conveniência de se padronizar os produtos. É o caso de muitas igrejas, organizações internacionais e outras tantas.

6.6.5 Simplicidade Operacional Tanto quanto possível devemos perseguir a simplicidade operacional. Mesmo para sistemas altamente complexos. Quando isso não for totalmente possível, devemos ter certeza que a escolha não recaiu num ou mais produtos difíceis de lidar por mero acaso.

Conversar com o operador do sistema, caso ele já tenha sido designado para a tarefa, é sempre uma boa ideia.

Simplicidade operacional não significa necessariamente empregar apenas produtos desprovidos. Por exemplo, um mixer automatizado pode ser bem mais simples de operar do que outra, não automatizada e mais barata.

Outro exemplo. Se temos indicações seguras de que aquele particular cliente sofre dos males de ter sempre muitos “técnicos” próximos do sistema, e tentando obter “melhores” resultados esses indivíduos mexem insistentemente nos processadores, podemos pensar em usar modelos digitais, com senhas de acesso. Sempre mais caros, mas menos vulneráveis diante desse problema corriqueiro.

6.6.6 Assistência Técnica e Peças Creio que não é preciso gastar muitas palavras para enfatizar a importância de que qualquer produto escolhido deve ter excelente serviço pós venda, assistência técnica assegurada, e principalmente, peças de reposição disponíveis.

Recomendo extrema cautela com esse aspecto. Conheço pessoalmente algumas assistências técnicas de produtos importados, devidamente credenciadas e autorizadas, com prateleiras cheias de produtos, alguns literalmente com teias de aranha, esperando apenas por peças de reposição.

Se você estiver considerando produtos importados, pergunte ao representante sobre a assistência técnica, fale sobre as peças, e procure descobrir o máximo possível.

Se estiver conversando sobre falantes, peça para ver os cones e reparos. Se estiver falando de mixer, peça para ver potenciômetros e medidores VI, e assim por diante.

Jamais se descuide disso, porque o resultado pode ser a paralisação do sistema por um bom tempo.

Uma alternativa para as peças de reposição, é a compra de uma relação de itens sobressalentes, com maior probabilidade de incidência de defeitos.

6.6.7 Disponibilidade no Mercado Os representantes de produtos importados costumam estocar os itens que mais vendem. O que é muito natural. Mas pouco prático para quem precisa atender clientes apressados com aparelhos não incluídos nessa relação de “mais utilizados”.

Em meu juízo, a maioria dos clientes brasileiros tem pressa. Assim, este também passa a ser um forte determinante do processo de escolha.

Algumas vezes o fenômeno ocorre com produtos nacionais. Especialmente em algumas épocas do ano. O que não chega a ser problema para os pequenos sistemas, mas que pode prejudicar os prazos estimados para os de porte mais avantajado.

6.6.8 OK, Mas em Versão Atualizada Todos os cliente esperam ser atendidos com produtos novos e sem uso. O que em geral é a regra. Logo, não podemos descuidar disso, que deve ser observado rigorosamente.

Por outro lado, com certa frequência encontramos produtos com produção descontinuada, ou a ser descontinuada. Devemos acompanhar isso de perto, para não correr o risco de entregar produtos zero quilômetro, mas “obsoletos” na dimensão tempo.

6.6.9 Homogeneidade de Conjunto De nada adianta termos escolhido excelentes transdutores e amplificadores, e processadores de sinal medíocres. Nem vice-versa. Procuro realçar as tintas para mostrar-lhes que o ideal é termos produtos todos do mesmo nível de qualidade. Sem que

qualquer deles comprometa os demais.

O que requer que a escolha não seja vista apenas como processos distintos para cada componente, mas como uma atividade global, de forma que resulte um todo homogêneo.

6.6.10 Garantias Garantias especiais podem ser um atrativo para a compra, mas também podem denotar a necessidade de desova de estoques de produtos sistematicamente recusados pelo mercado.

A ausência de garantia é uma guilhotina, à qual não devemos submeter nossos preciosos pescocinhos. Portanto, aqui o melhor é seguirmos pelo caminho do equilíbrio.

6.6.11 O Processo de Escolha Aplicar todos os critérios acima simultaneamente não é mole. Ainda deveríamos vestir a pele do cliente, e atribuir pesos para ponderar nossas decisões finais. Sempre sujeitas a críticas.

Uma das alternativas é resolvermos isso a 4 mãos. Com o cliente.

Apresentamos todos os dados, análises, ponderações, e fazemos a escolha em conjunto.

O processo de escolha em si não deve ser precipitado. Ao contrário, deve ser muito bem pensado, e as decisões tomadas muito conscientemente.

Vimos anteriormente que era possível separar o todo em transdutores e acessórios, aparelhos eletrônicos, ferragens, fios e cabos, materiais de instalação e diversos. Recomendo que se trabalhe com cada grupo desses por vez. O que realmente facilita bastante.

É como dividir uma tarefa complexa em subtarefas individualmente mais digeríveis.

6.6.12 Os Produtos e a IEM

Veremos no capítulo 9 como selecionar equipamentos menos vulneráveis a interferências eletromagnéticas.

6.7 O QUE É A INSTALAÇÃO

O termo instalação costuma ser empregado com um sentido muito amplo e genérico. Abarcando todas as tarefas necessárias para colocar em operação um sistema.

Assim sendo, e considerando a importância de cada uma das tarefas envolvidas, preferi dar-lhes tratamento dedicado neste livro. No capítulo 7 discutiremos como desenhar clusters. No capítulo 8 estaremos discutindo apenas as interligações entre os equipamentos.

No capítulo 9 o assunto é palpitante. Estaremos falando sobre a IEM, ou Interferência Eletromagnética.

No capítulo 10 discutiremos a instalação com o sentido envolvente de tratar dos serviços

de campo e suporte de escritório, além de sua organização.

O capítulo 12 é totalmente dedicado ao alinhamento de sistemas. Inclusive equalização.

Finalmente, os capítulos 13 e 14 foram eleitos para o tema infraestrutura. O suprimento de energia e seus meandros estão no capítulo 13, e no 14 falamos de rede de eletrodutos e aspectos que lhe dizem respeito.

Embora todas essas sejam atividades de instalação, não são exclusivas.

De fato, qualquer sistema mal alinhado, e operando há anos, poderá apresentar resultados muito superiores após uma seção séria de alinhamento.

Em termos de projeto, é sempre conveniente que digamos também o que esperamos da instalação. Ou os resultados poderão ser muito diferentes dos previstos. Isso é exatamente o que acontece com muita frequência naqueles “projetos” que são apenas uma relação de equipamentos. Às vezes acompanhados por um ou mais desenhos.

Um dos tópicos mais importantes de um sistema bem instalado é a confiabilidade. O que, por sua vez, depende muito da gerência térmica.

Ocorre que gerência térmica é algo que não se resolve durante os serviços de instalação e sim durante a etapa de projeto.

Eis porque esse tema passa a ser abordado logo a seguir.

6.8 GERÊNCIA TÉRMICA
6.8.1 Introdução É bem provável que a Gerência Térmica figure entre os tópicos menos lembrados quando se especifica um sistema profissional de áudio. Ao menos se considerarmos que Gerência Térmica é o conjunto de técnicas desenvolvidas para possibilitar a remoção de calor dos aparelhos que o produzem para, depois, remover o calor do interior dos racks, para onde é transferido o calor dos aparelhos e, finalmente, para remover o calor das salas de equipamentos, destino do calor retirado do interior dos racks lá instalados.

Evidentemente, tudo isso deve ser feito com base em dimensionamento técnico baseado na quantidade do calor produzido, sempre com critérios para que as remoções sejam eficazes diante de todas as variáveis intervenientes. Que não são poucas.

Posso lhes dizer que a Gerência Térmica está longe de ser uma das preocupações principais de boa parte dos projetistas de sistemas profissionais. O que vale para o Brasil e para o exterior.

Receio que a gravidade do problema térmico e suas mazelas sequer são coisas compreendidas em toda sua extensão e profundidade. Principalmente as consequências advindas a médio e longo prazos. É uma pena. Porque sistemas engenheirados desde o início com essa preocupação em mente costumam ser bem mais confiáveis do que os demais.

Além disso, quando o calor é um problema mal resolvido, a taxa de defeitos cresce vertiginosamente.

6.8.2 Fundamentos Conceituais Os átomos dos elementos químicos e as moléculas das substâncias são entidades dinâmicas. Ou seja, estão em permanente estado de movimento. A magnitude desses movimentos depende do grau de agregação dos átomos e moléculas o que, por sua vez, está relacionada com o estado da matéria em questão: sólido, líquido ou gás.

Simplesmente por estar em movimento essas partículas são dotadas do que se chama energia cinética. Cujo somatório é a energia térmica.

Nos sólidos, as partículas apresentam movimento muito moderado, do gênero vibrações muito discretas em torno de posições de equilíbrio. Portanto, com baixos níveis de energia térmica. No outro extremo estão os gases, cujas partículas possuem movimentos bem amplos, dotados níveis de energia térmica muito elevados. No meio termo estão os líquidos.

Em seu trabalho muito profícuo Lavoisier acabou cunhando o termo “calórico”. Logo depois abreviado para “calor”.

Algumas décadas depois disso James Joule não só relacionou de forma definitiva calor com energia, como também estabeleceu a proporção matemática entre essas duas quantidades.

Convém ressaltar que, cientificamente, só é possível empregar o termo calor quando há trânsito de energia térmica. Ou seja, quando por efeito de diferença de temperatura há troca de calor do corpo mais quente para o mais frio. Podemos resumir esse conceito enunciando que calor é energia térmica transferida entre corpos com diferentes temperaturas.

6.8.2.1 Produção de Calor A passagem da corrente elétrica em qualquer componente eletrônico, e mesmo em fios condutores, produz calor. A Lei de Joule estabelece uma relação entre intensidade de corrente elétrica e quantidade de calor produzido.

A circuitação de um aparelho relativamente complexo pode incluir uma quantidade praticamente incalculável de componentes.

Veja por exemplo a circuitação da figura 6.68.



figura 6.68 circuitação de aparelho relativamente complexo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Lembro que o termo “contagem de transistores” nos informa quantos transistores podem estar
contidos num único circuito integrado.

Assim, um único chip moderno de CPU pode conter mais de 5 bilhões de transistores, todos produzindo calor! Você não se enganou, não. Escrevi 5 bilhões, com B de banana, não 5 milhões, com M de merreca.

Pois bem. A cada momento cada um dos componentes eletrônicos da placa da figura 1 é percorrido por uma determinada corrente elétrica.

O que, vimos, produz calor.

Como se sabe, cada componente eletrônico deve trabalhar dentro de uma faixa de temperatura. Ou ele entra em colapso e para de trabalhar. Comprometendo todo o funcionamento do aparelho.

O que se tem verificado na vida real é que, cada vez mais, os aparelhos digitais projetados para uso em áudio profissional passam a contar com o concurso de ao menos um engenho DSP e/ou de processadores genéricos.

Os custos relativamente reduzidos desses dispositivos mais do que justificam seu uso para facilitar configurações, para simplificar o interfaceamento entre a máquina e o usuário, para realizar efeitos como processamento dinâmico em tempo real, para controlar funções, para realizar procedimentos de manutenção e para informar os status de cada parte.

O que é muito bom para o usuário.

Esse é o lado bom da questão.

O lado ruim é que esses aparelhos, considerando-se seus tamanhos usualmente modestos, produzem quantidades muito elevadas de calor e, pior, de modo muito concentrado. Com certeza muito mais do que se pode supor.

Para evitar que o calor produzido por quaisquer aparelhos tenha influência deletéria além do normal, os fabricantes incluem em seus projetos maneiras de remover o calor produzido do interior de seus próprios produtos.

6.8.2.2 Vida Útil, Confiabilidade e Qualidade Vida útil de produto é um conceito relacionado com durabilidade.

Praticamente todos os produtos industrializados ou construídos artesanalmente passam por uma etapa inicial de acomodação e ajustes, para que venham a adquirir suas características normais plenas. Essa etapa é indicada na figura 6.69 com a “A”.

Em razão desse comportamento típico, as fábricas efetuam todos os ajustes iniciais e adequações antes de entregar os produtos para o mercado. Muitas empresas chamam essa etapa de “burn-in”. De quebra, o “burn-in” pode ajudar na detecção de amostras que não se enquadram nos critérios de qualidade especificados e que, portanto, passam a ser considerados produtos refugados. Esse é o conhecido teste de CQ (Controle de Qualidade).

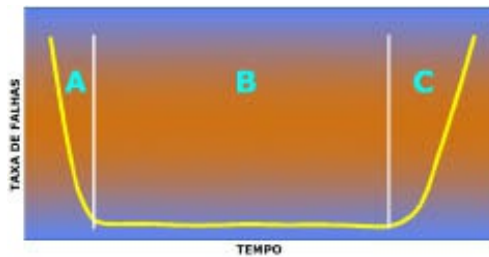


figura 6.69 vida útil em termos de taxa de falhas versus tempo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Na etapa representada na figura com a letra “B”, as taxas de falhas dos produtos são estatisticamente muito reduzidas e, portanto, consideradas normais. Porque, mesmo havendo custos de manutenção envolvidos, os benefícios proporcionados pelos produtos ainda são muito superiores aos custos e inconvenientes implícitos.

Na etapa C do gráfico a taxa de falhas do produto começa a aumentar progressivamente, até que se torna evidente a necessidade de descarte. Esse momento é usualmente definido como aquele no qual, a critério do usuário, os benefícios são igualados ou ultrapassados pelos problemas de falhas incluindo custos, prejuízos, incômodos e paralizações.

Por tudo isso a vida útil dos produtos é aquela contida na região B do gráfico.

Durabilidade é algo associado ao período pelo qual se prolonga a vida útil de um produto. Pense num simples livro de leitura. Em condições normais de uso ele deve durar décadas sem grandes alterações físicas.

Pense agora num outro extremo. Num míssil balístico intercontinental.

Ora, esse é um produto concebido para durar apenas poucos minutos, que é seu período de voo que segue o lançamento.

Agora, a vida útil é de apenas poucos minutos.

Como o próprio nome sugere, confiabilidade é algo que depende de nossas expectativas de que o produto não apresente falhas ao longo de sua vida útil, ou de que essas falhas sejam muito reduzidas. É fato comprovado que as falhas de quaisquer produtos são muito reduzidas se esses produtos são submetidos aos processos de manutenção preventiva.

É nesse ponto que entra na discussão a questão da qualidade.

Há produtos projetados e fabricados para que tenham baixa confiabilidade.

Nesses casos, o compromisso é apenas com preços reduzidos e nada mais.

Quem os adquire tem consciência disso mas julga que vale a pena pagar pouco em troca de eventuais falhas que podem nem mesmo ocorrer ou que até podem ocorrer “prematuramente”.

Esses são os produtos que não tem qualidade.

No outro extremo, há produtos concebidos, projetados e construídos para que a confiabilidade seja a mais elevada que a tecnologia corrente e o dinheiro permitam obter. Muitas vezes porque não há outra alternativa.

Veja por exemplo o caso da figura 6.70.

Lá está o cockpit do ônibus espacial Atlantis.

Pode-se notar a grande presença de aparelhos eletrônicos. Essas naves são concebidas

para realizar inúmeras missões, incluindo a de prestar manutenção em telescópios espaciais como o Hubble. Esses telescópios estão em órbita geoestacionária a 560 quilômetros acima da superfície do planeta.



figura 6.70 cockpit da Atlantis em foto de 1999

cortesia NASA É fácil deduzir o que pode acontecer se os aparelhos eletrônicos dessas naves começam a apresentar falhas. Convém lembrar que esses aparelhos não trabalham em condições ideais, mas sim em circunstâncias de extremo rigor, o que é próprio dessas missões. Vejamos um único caso, que é o da temperatura.

A troposfera terrestre atinge altura de 12 quilômetros, com temperaturas que variam entre 40 e -60°C . A seguir vem a estratosfera, cuja altura chega a 50 quilômetros. As temperaturas estão entre -5 e -70°C .

A próxima camada é a mesosfera cuja altura máxima é 80 quilômetros. As temperaturas nessa camada estão entre -10 e -100°C . A próxima camada é a termosfera. Sua altura chega a 500 quilômetros acima do nível do mar. As temperaturas na termosfera podem ultrapassar 1.000°C . O motivo é que essa camada é muito rica em oxigênio atômico, cujo principal predado é absorver a energia irradiada pelo sol.

A última camada antes do espaço sideral é a exosfera. Ela fica situada entre 500 e 800 quilômetros, com temperaturas que se aproximam de 1.000°C .

A chamada linha Kármán fica a 100 quilômetros de altura e é considerada, para efeitos práticos, o limite entre a atmosfera e o espaço exterior.

As placas cerâmicas dos ônibus espaciais são projetadas para suportar temperaturas de mais de 1.500°C . Isto porque as temperaturas no bordo de ataque dessas naves chegam próximas a isso em razão do atrito quando elas ingressam na atmosfera terrestre.

Tudo isso é parte do que os cientistas da NASA precisam levar em conta antes de projetar naves espaciais e especificar aparelhos eletrônicos para elas.

Numa escala bem mais amena os sistemas profissionais de áudio também sofrem de problemas de temperatura.

A vida útil dos aparelhos profissionais de áudio também depende de uma larga série de fatores coadjuvantes. Além da temperatura operacional de trabalho do aparelho, alguns desses fatores são o grau de umidade relativa do ar a que ficam submetidos os aparelhos, a ação de campos elétricos e magnéticos, o estresse mecânico operacional, o regime de vibrações a que os aparelhos são submetidos, choques mecânicos em geral, a qualidade da energia utilizada para alimentar o aparelho, os ataques de agentes contaminantes e/ou corrosivos sobre as partes metálicas e plásticas dos aparelhos, as fissuras produzidas nas soldas por micro pressões físicas e forças mecânicas, da vida útil definida em projeto como objetivo a ser alcançado e a fadiga natural de todos os componentes eletrônicos provocada por expansões e contrações físicas que decorrem das variações de temperatura desses componentes quando os aparelhos são ligados e desligados. Essas variações dependem dos coeficientes de dilatação térmica dos componentes.

Só para constar, a dilatação térmica ocorrer de forma linear, de forma superficial e de forma volumétrica. São as dilatações que verificamos, por exemplo, numa haste metálica, numa chapa de vidro e num bloco maciço de concreto, respectivamente. Por isso, os coeficientes de dilatação térmica dos materiais também são denominados linear (a), superficial (b) e volumétrico (g).

6.8.2.3 Calor versus Vida Útil O que nos interessa neste momento é focar apenas na temperatura.

Vimos que num aparelho eletrônico o calor é produzido pelos componentes eletrônicos funcionando e que há uma lei da física que relaciona passagem de corrente elétrica com quantidade de calor gerado.

Em função dessa lei aparelhos como amplificadores de potência, que trabalham com correntes elétricas relativamente elevadas, produzem quantidades apreciáveis de calor. Mas todos os demais aparelhos também produzem calor. Quero enfatizar que os modernos aparelhos digitais, cada vez mais densos e compactos, também geram elevadas quantidades de calor.

Vimos porque é preciso remover o calor dos amplificadores e dos demais aparelhos eletrônicos de áudio profissional.

Podemos estar seguros que aparelhos de marcas reputadas são projetados de forma tal que o calor por eles produzido é mesmo removido com certa facilidade, desde que respeitemos

todas as recomendações e condições estabelecidas pelos respectivos fabricantes. A exemplo de manter distâncias e deixar espaços livres para que as entradas e saídas de ar previstas possam trabalhar sem obstáculos.

Mas uma coisa é deixar um amplificador numa prateleira com muito espaço ao redor dele. Outra, totalmente diferente, é entupir um rack com equipamentos e amplificadores de alta potência e, sem tomar qualquer cuidado, esperar que tudo ainda funcione bem por anos a fio. Se funcionar, é o camelo que passa pelo buraco da agulha.

Para que você tenha uma ideia quantitativa e qualitativa de como a temperatura afeta um aparelho eletrônico, basta mencionar que, a partir de 30°C, cada incremento de temperatura de 10°C implica na redução média da vida útil do aparelho para 1/3 do que era antes. Sem limites para cima.

É por isso que, por exemplo, um pré amplificador genérico que tenha vida útil de 10 anos especificada para a condição do aparelho operar a 30°C, é reduzida para pouco menos de 3 anos e meio se ele vier a ser operado em regime de temperatura constante de 40°C. E é reduzida para um ano e pouquinho se ele estiver operando a 50°C. E assim por diante. OK?

Tenha sempre em mente que a temperatura é, de longe, o principal fator determinante da vida útil de qualquer componente eletrônico. Ou de aparelhos construídos com componentes eletrônicos.

Se um corpo quente entra em contato com outro corpo, com temperatura inferior à do primeiro, então tem início uma troca de calor no sentido do mais quente para o mais frio.

Se o mais frio tem condições de dissipar totalmente o calor recebido, essa troca continua indefinidamente. Porém, caso contrário o calor recebido não é integralmente dissipado e as temperaturas dos dois corpos acabam se igualando.

A taxa de transferência de calor depende da natureza de cada material e da área de contato entre os corpos. A intimidade do contato e a pressão mecânica também são fatores que influenciam a transferência térmica.

É por esta razão que as pastas térmicas e apertos com parafusos e porcas são a forma usual de montar dissipadores térmicos em semicondutores.

Sólidos, líquidos e gases têm diferentes taxas de transferência de calor, ou resistência térmica. Por exemplo, os gases, bons isolantes térmicos naturais têm elevadas resistências térmicas e reduzidas condutividades de calor. Especialmente se comparados aos sólidos.

Pense na resistência térmica como uma resistência elétrica. Nesta, a passagem de corrente elétrica produz uma queda de voltagem. A essência da Lei de Ohm. A resistência térmica indica quantos graus a temperatura é reduzida quando dois corpos com temperaturas diferentes entram em contato. A especificação é usualmente apresentada em graus Celsius por watts. Há

tabelas que relacionam essas informações para vários materiais diferentes.

6.8.2.4 Equilíbrio Térmico A natureza tem o dom sublime de restabelecer o equilíbrio de tudo que a contraria.

Por exemplo, você resolve fazer um cafezinho. Então, coloca um pouco de água num fervedor e o leva a uma boca do fogão. Em pouco tempo a água levanta fervura e você já pode coar o café. Claro que a água ainda está muito quente.

Se você deixar o fervedor com a água quente sobre a pia, o calor da água e o do fervedor vão ser transferidos para o ar mais frio que envolve o fervedor. Esse processo continua assim até que o equilíbrio térmico seja totalmente restabelecido. Nesse momento, água e fervedor estarão com a mesma temperatura que o ar ambiente.

Coisa semelhante acontece se quisermos descongelar uma peça de picanha que estava no congelador.

Basta tirar a peça do congelador e deixá-la sobre a pia, como no caso do fervedor. O equilíbrio térmico será restabelecido com o tempo. Então, picanha e ar ambiente estarão com a mesma temperatura.

Esses dois exemplos mostram que a natureza pode trabalhar a nosso favor.

Mas quero voltar ao caso do café. Imagine que você deixou o fervedor com água muito quente para esfriar sobre a pia. Era inverno e a temperatura na cozinha beirava os 10°C. Após um tempo o fervedor e a água adquiriram a temperatura ambiente. Agora, imagine que você repetiu essa mesmíssima experiência no verão.

Com sol a pino.

A temperatura na cozinha era 45°C. Agora, o resfriamento se dá outra forma.

Será que fervedor e água esfriam mais rapidamente no inverno? Ou será no verão, já que a diferença de temperatura é menor?

Vejamos a resposta para isso. Considere inicialmente que a corrente térmica, ou transferência de calor, se dá sempre do corpo mais quente para o mais frio. Pois é, e essa corrente de calor é proporcional à diferença de temperatura existe entre o corpo mais quente e o mais frio, geralmente o ambiente que o cerca.

No jargão da termodinâmica:

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A \cdot (T - T_A) \quad (6.38)$$

onde:

• dQ/dt é a quantidade de calor transferida por unidade de tempo • h é uma constante que depende de cada corpo aquecido • A é a área de contato físico entre os corpos • T é a temperatura do corpo mais quente, e • T_A é a temperatura do corpo menos quente, geralmente o ar
Você acabou de ver a Lei do Resfriamento de Newton.

6.8.3 Terminologia Penso que vai facilitar muito discutir Gerência Térmica se conhecermos o significado prático de alguns poucos termos. Então, vamos cuidar um minutinho da terminologia, abordando conceitos e definições fundamentais.

temperatura

Quero começar com este conceito, que me parece o abre alas de toda a ciência termodinâmica. A temperatura expressa o nível de energia de calor apresentado por um determinado corpo num determinado momento. É diretamente proporcional à velocidade de vibração dos átomos e moléculas desse mesmo corpo.

É expressa em °C (graus centígrados) no SI (Sistema Métrico Internacional). Mas também é comum o uso das escalas °F (graus Fahrenheit, de origem inglesa) e o °R (Reaumur, de origem francesa).

calor

Além da definição de calor que vimos anteriormente, também podemos colocar que calor é uma forma de energia resultante do movimento atômico e molecular de qualquer matéria conhecida.

quantidade de calor Grandeza que depende diretamente da quantidade de átomos e das moléculas que vibram numa determinada massa de matéria.

No SI (Sistema Internacional de Unidades) a quantidade de calor é expressa em J (Joule). Entretanto, por razões históricas ainda se emprega quase que exclusivamente a caloria, abreviada para “cal”. A caloria é definida como sendo a quantidade de calor necessária para aquecer 1 grama de água de 14,5 a 15,5°C em condições normais de pressão. Ou seja, 1°C.

Para constar:

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

BTU – British Thermal Unit Unidade não métrica utilizada em muitos países do mundo, inclusive Brasil que, na qualidade de quantidade de calor, também define o quanto um equipamento é capaz de aquecer ou refrigerar um determinado ambiente. Usualmente a quantidade de calor necessária para aquecer em 1°F (um grau Fahrenheit) uma libra d’água (453,6 gramas). Não estranhe essas grandezas já que essa unidade de quantidade de calor é de origem britânica.

Para constar:

$$1 \text{ BTU} = 252,4 \text{ cal} = 1055 \text{ J}$$

BTU/h

A quantidade de troca de calor realizada por um dado aparelho no período de uma hora. Só para citar um exemplo, quanto mais elevada é a especificação de BTU/h de um sistema de condicionamento de ar, mais intensa é sua capacidade de refrigeração ou de aquecimento.

CFM

Fluxo de ar definido em termos de pés cúbicos por minuto. Também chamado vazão volumétrica. No Brasil também usamos o fluxo em termos de m^3/minuto . 100 CFM equivalem a 2,8316847 m^3/minuto . Uma das principais especificações das ventoinhas e dos ventiladores.

TON

Unidade de troca de calor muito peculiar. É uma unidade resultante de um conceito, que é a capacidade de derreter gelo.

Assim, a capacidade de refrigeração de 1 TON (uma tonelada curta = 908 kg) é igual ao esforço de refrigeração necessário para derreter uma tonelada (curta) de gelo em 24 horas.

Portanto, um sistema de refrigeração com capacidade de 5 TON produz o mesmo trabalho físico que um dispositivo capaz de derreter cinco toneladas curtas de gelo no período de 24 horas.

A capacidade de refrigeração de um sistema de ar condicionado expressa em toneladas pode ser facilmente convertida para BTU/h.

Com efeito, 1 TON de refrigeração = 12.000 BTU/h.

WATT

1 watt (volts x ampères) = 3,413 BTU/h CCS – Capacidade de Carga da Sala É o limite no qual a carga térmica transferida para a sala não possibilita mais que o equipamento trabalhe em sua faixa de temperatura. Corresponde ao que gosto de chamar de saturação térmica da sala.

PM – Potência Medida É a corrente elétrica medida em ampères que um equipamento consome para se determinar o calor produzido por Efeito Joule. No caso de amplificadores de áudio é preciso levar em conta a natureza dinâmica do programa que vai ser amplificado. A tabela 6.8 reúne informações observadas por muitos consultores de áudio no Brasil e em todo o mundo.

tabela 6.8

APARELHO	AMPÈRES
sintonizador de TV	0,20
bluray player	0,15
matriz AV	1,40
mixer digital 24 canais	1,80
processador dinâmico	0,60
central de controle	2,5
amplificador	ver nota

nota: para amplificadores de potência que fazem parte de sistemas permanentes, recomendo que se considere a corrente elétrica para potência elétrica igual a 1/8 da potência máxima. O que corresponde à margem de 9,0 dB em potência. Para sistemas locados recomendo que se observe corrente elétrica para potência elétrica igual a 1/3 da potência máxima. Neste caso, a margem é de apenas 4,8dB, também em potência.

radiação

Uma das três formas clássicas de transferência de calor.

Ocorre entre dois corpos separados.

A energia radiante é propagada pelos corpos em todas direções, na forma de ondas eletromagnéticas que, inclusive se propagam no vácuo. Veja o exemplo do calor solar que podemos sentir diariamente em nossos afazeres mais comuns.

condução

A segunda forma clássica de transferência de calor. Ocorre tipicamente no interior de um dado corpo. Pense numa barra metálica. Aquecida em de suas extremidades, rapidamente o calor terá se espalhado por toda a barra. Como os sólidos propagam melhor o calor do que os fluidos, a condução é particularmente notável nos sólidos.

Tecnicamente resulta da transferência de energia entre moléculas no interior do corpo em questão.

convecção

A terceira forma clássica de transferência de calor. Ela ocorre nos líquidos e nos gases e é caracterizada por correntes ascendentes de ar quente e correntes descendentes de ar menos aquecido. Esses movimentos relativos criam as chamadas correntes de convecção. Como ilustra a figura 6.71.

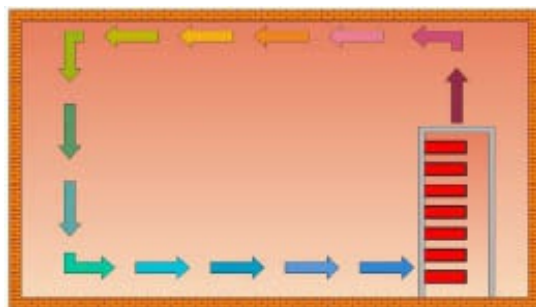


figura 6.71 esquema mostrando como ocorre a convecção natural de ar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O motivo físico dessas correntes é que as moléculas do ar aquecido se distanciam entre si, produzindo um ar mais rarefeito, ou menos denso que o ar frio. Isso reduz a massa do ar por unidade de volume, o que provoca sua subida. Tanto mais intensa quanto mais quente ele se torna. O ar que sobe cria espaço para o ar frio que o ocupa.

Essas correntes prosseguem indefinidamente e elas são muito utilizadas no resfriamento de aparelhos e na própria Gerência Térmica.

pressão estática

É a pressão da sucção produzida por exaustores elétricos. No interior de um rack, é a medida da resistência total à passagem do fluxo de ar.

Quando se fala de arrefecimento forçado, fica implícito que o sistema apresenta sua própria impedância mecânica. À medida em que o ar insuflado pela ventoinha viaja na direção das grelhas de exaustão, a pressão vai reduzindo até que o ar encontra o ambiente externo ao rack.

Esta é outra das principais especificações das ventoinhas.

É fundamental observar que as ventoinhas escolhidas devem, necessariamente, ter capacidade de trabalhar nas pressões estáticas especificadas.

Do contrário a CFM nominal pode não ser obtida.

Como qualquer outra pressão, a estática pode ser positiva ou negativa. Ela também independe da velocidade do ar.

É medida numa direção perpendicular à direção de deslocamento do fluxo de ar.

ventoinha (fan)

Dispositivo eletromecânico, equipado com motor central e uma certa quantidade de pás que, ao girar, tem a capacidade de promover o movimento de uma certa massa de ar.

Essa é a definição de ventoinha axial. Mas existem outros tipos. O termo ventoinha é usualmente associado a dispositivos de pequena capacidade.

As especificações de ventoinha incluem: sua capacidade de fluxo de ar ou, num jargão mais técnico, a vazão volumétrica (CFM), a pressão de ar (geralmente em termos de H_2O), as rotações em regime, o tamanho, o sistema de rolamentos do motor, a voltagem e se o motor é CC ou CA e, claro, o nível de ruído produzido, geralmente em dBA.



figura 6.72 ventoinha axial típica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.72 mostra uma ventoinha típica. No caso, uma de 50mm.

Cabe observar que a especificação de vazão volumétrica de uma ventoinha é sempre um valor máximo, que só é obtido em condições ideais, sem nenhum atrito com o ar.

O que já não ocorre quando a ventoinha é montada num painel de rack.

Nesse caso, as pequenas parcelas de fricção do ar contra as superfícies envolvidas reduzem a vazão volumétrica.

Especialmente quando há obstáculos presentes nessas superfícies.

ventilador (blower) O ventilador tem as mesmas funções da ventoinha.

Entretanto, fisicamente o ventilador sofre algumas modificações para melhor conduzir o fluxo de ar. Em geral tem maior capacidade de fluxo de ar e pode trabalhar em condições mais adversas de pressão estática.

A figura 6.73 mostra um ventilador.



figura 6.73 ventilador centrífugo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
6.8.4 Remoção de Calor
6.8.4.1 Estimativas Preliminares A estimativa do calor gerado pelos aparelhos de áudio deve ser feita, inicialmente, separando-se os amplificadores de potência de todos os demais aparelhos.

Para estes últimos, a melhor maneira de estimar o calor gerado é medindo sua potência de entrada e a potência entregue para a carga. A diferença é a potência que o aparelho transforma em calor.

Vejam os exemplos com um exemplo. Seja um crossover eletrônico alimentado por 127 volts CA. A corrente elétrica medida na entrada do aparelho é 0,20 ampères. Podemos aproximar a potência de entrada para $P_E = 127 \times 0,2 = 25,4$ watts. Medimos a potência entregue à carga. A voltagem sobre a carga é 1,0 volt rms @ 1 kHz. Como a impedância nominal da carga é 600Ω , a potência sobre essa carga pode ser calculada $P_C = (1)^2/600 = 0.001$ watts. Ora, podemos desprezar essa muito reduzida potência entregue à carga e concluir que, para todos os efeitos práticos, a potência dissipada em calor coincide com a potência de entrada, que é 25,4 watts.

Essa técnica não funciona para os amplificadores de potência.

Para esses, o melhor mesmo é considerar um percentual do consumo total, partindo das figuras especificadas pelo fabricante. Vou tomar como exemplo um caso real. O amplificador é o QSC modelo DCA 3422. Sua especificação de potência EIA (1 kHz, 1% de DHT) é 800 watts/canal @ 8Ω e 1.250 watts/canal @ 4Ω e 1.700 watts/canal @ 2Ω .

Supondo que haja 4 desses amplificadores montados num rack de equipamentos, todos trabalhando com cargas de 8Ω , a potência máxima produzida por amplificador será 1.600 watts. Ou 6.400 watts para os quatro amplificadores. Na folha de especificações do DCA 3422 a QSC informa dados completos de consumo de corrente para cargas de 2, 4 e 8Ω e para uma variedade de situações que correspondem a realidades de programas. Por exemplo, para cargas de 8Ω e 1/8 da potência nominal de saída, ruído rosa, que na opinião do fabricante corresponde à uma típica situação de programa musical reproduzido com picos sem clipamentos, exceto clipamentos ocasionais, o consumo de corrente elétrica é 7,6 ampères para alimentação a 120 volts CA. O que nos leva a uma potência aproximada de 912 watts. Ou 3.648 watts para os quatro amplificadores.

Agora que você tem um norte, vou continuar o exemplo.

Vamos imaginar que nosso rack também tenha instalados 10 processadores de sinais, com consumo de 30 watts cada um. Portanto, mais 300 watts.

A potência total a ser dissipada no rack é 3.948 watts.

Para converter watts elétricos em BTU/h pode se empregar a seguinte expressão:

$$\text{BTU/h} = \text{watts} \times 3,4 (*)$$

(*) fonte Phillip Giddings, Audio System Design and Installation, First Edition, First Printing, 1990, página 491.

Em nosso caso, $3.948 \text{ watts} \times 3,4 = 13.423,2 \text{ BTU/h}$.

Se quisermos calcular o fluxo de ar forçado necessário para esse caso, continuamos a sequência.

Precisamos calcular agora a ventilação mínima necessária.

Podemos usar a grandeza CFM (cubic feet per minute), já que ela é largamente usada com frequência no Brasil.

A expressão que permite fazer esse cálculo é:

$$\text{CFM} = (1.760 \times \text{KW}) / \Delta t \quad (6.39)$$

onde:

- CFM é a ventilação forçada em pés cúbicos por minuto
 - KW é a potência a ser dissipada em quilowatts, e
 - Δt é a diferença de temperatura que podemos aceitar acima da temperatura ambiente
- Gostaria de abordar rapidamente como se estabelece o termo Δt com critério técnico. Quando a temperatura ambiente está entre 15 e 20°C, pode-se pensar em Δt igual a 10°C. Para temperatura ambiente variando entre 20 e 25°C recomendo Δt de 6°C. Para temperaturas acima de 25°C, até digamos 30°C, devemos escolher Δt máximo de 3°C.

Temperaturas acima de 30°C não são recomendadas.

Nesses casos o ideal é utilizar sistema de condicionamento de ar para controlar temperatura e grau de umidade relativa do ar.

Vamos prosseguir com nosso exemplo, supondo que a temperatura ambiente é 21°C. Por isso, o Δt escolhido é 5°C. Então,

$$\text{CFM} = (1.760 \times 3,95) / 5 = 1.390,4$$

Nesse caso é possível usar muitas configurações de ventoinhas. Uma delas é utilizar uma única ventoinha, como a FFD modelo FFD12, de 3.000 RPM e fluxo de ar de 1.500 CFM, cujas dimensões são 31,75 cm x 29,52 cm x 5,72 cm, com 4 pontos de fixação e motor central.

Veja a figura 6.74.



figura 6.74 ventoinha FFD modelo FFD12

Outra alternativa seria utilizar 6 ventoinhas marca Delta modelos TFB1212GHE ou GFB1212VHW, ambas com fluxo de ar de 220 CFM. Veja a figura 6.75.



figura 6.75 ventoinha Delta modelo TFB1212GHE

cortesia Delta 6.8.4.2 Fundamentos do Condicionamento de Ar por Processos Evaporativos Pense numa vasilha cheia de água. Assim que a lâmina do líquido é exposta ao ar tem início um processo de vaporização espontânea. Que tem caráter permanente e só termina quando não restar mais água na vasilha.

Esse processo, que acontece com qualquer temperatura, é chamado evaporação.

A evaporação é consequência da agitação molecular natural da água. Com efeito, essa agitação faz com que algumas moléculas se desprendam da água e passem a pairar soltas livremente no ambiente, convertendo-se em vapor.

A evaporação ocorre com quaisquer líquidos. Os líquidos que vaporizam mais rapidamente são chamados “voláteis”. Os demais são denominados “fixos”.

Quando a água que está sobre a pia da cozinha de nossas casas começa a evaporar, a temperatura da superfície da pia cai porque o processo de evaporação implica necessariamente em consumo de calor. É por essa razão que uma suave brisa noturna nos refresca. Com efeito, a corrente de ar faz com que transpiremos e a evaporação do suor remove calor de nossos corpos.

Veja a ilustração disso na figura 6.76.



figura 6.76 ilustração de resfriamento por processos evaporativos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra maneira de fazer referência à evaporação é dizer que quando o ar entra em contato com a água, ele a absorve. A quantidade de água absorvida depende muito de quanto de água já há no ar. O termo “umidade” tem o significado de quantidade de água presente no ar. Então, se o ar contém 50% de água de sua capacidade total de retenção do líquido, dizemos que a umidade relativa do ar é 50%. Se a umidade relativa do ar é reduzida, então sua capacidade de absorver água é elevada. E também há mais espaço para a evaporação, que tende a aumentar.

A umidade relativa do ar cai com o aumento da temperatura do ar. A cada aumento de aproximadamente 11°C na temperatura, duplica a capacidade de retenção de umidade pelo ar.

Quando o ar contém toda a água que pode absorver, dizemos que ele está saturado. Na condição de saturação a temperatura e o ponto de orvalho são a mesma coisa. Define-se ponto de orvalho a temperatura na qual o vapor d'água presente no ar passa ao estado líquido e adquire a forma de gotículas, como as da chuva.

Antes de prosseguir, gostaria de lhes apresentar uma figura resumindo os três estados mais comuns da matéria e como são chamados os processos de conversão de um para outro estado. É o que consta da figura 6.77.



figura 6.77 sólidos, gases e líquidos e conversões acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A umidade relativa do ar varia de acordo com a temperatura e com a localização.

Durante o processo de evaporação, o calor consumido é removido de qualquer coisa que esteja em contato com a água. Pode ser uma calçada quente, uma árvore, o seu corpo, o ar que respiramos, ou dispositivos especialmente fabricados para trocar calor durante esses processos.

Portanto, quanto mais quente estiver o dia, mais seco estará o ar. E, correspondentemente, maior será a capacidade de resfriamento através de processos evaporativos. O que possibilita que tudo ocorra com eficiência.

Esses são os fundamentos dos sistemas de condicionamento de ar do gênero evaporativo.

Fica fácil perceber que a eficiência de um dispositivo de refrigeração por evaporação está relacionada como sua habilidade de evaporar água num dado grau de umidade relativa. Assim, tenho recomendado o uso dos sistemas PortaCool, cujos elementos podem ser encontrados no site www.portacool.com

Trata-se de uma linha de produtos portáteis com ampla gama de aplicações práticas, sendo que todos os produtos são caracterizados por uma eficiência absurdamente elevada. Vale a pena conferir. Até porque os custos são usualmente frações do que é preciso pagar para que se tenha sistemas mais elaborados de condicionamento de ar.

6.8.4.3 Visão de Conjunto Atenção para a figura 6.78.

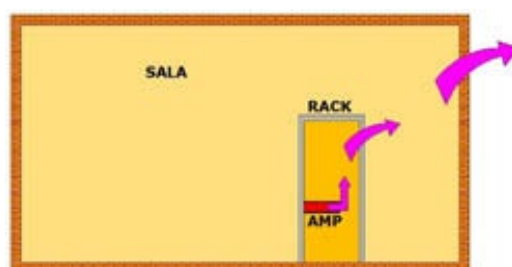


figura 6.78 sala com rack e amplificador nele montado – esquema de remoção de calor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ela mostra uma sala no interior da qual está um rack de equipamentos e,

dentro dele, um amplificador de potência. A cor vermelha do amplificador sinaliza que a temperatura desse aparelho pode ser consideravelmente elevada. Razão suficiente para que esse calor seja removido do aparelho.

A seta em forma de L de cor magenta que aparece no desenho sobre o amplificador, sugere que esse calor deixa naturalmente o amplificador e segue para o interior do rack.

Como disse antes, nos bons projetos de aparelhos de áudio os fabricantes já resolveram bem a questão do calor deixar seus produtos. Infelizmente, quando pensamos em termos de sistemas, a coisa não é assim tão simples. A eficiência na troca de calor que deixa um produto aquecido também depende de que temperatura tem o ambiente em torno desse mesmo produto. Agora, quero fazer um exercício com você para caracterizar um fato muito comum que ocorre quando temos uma situação como a da figura 10. Só que para fazer isso preciso antes falar com você sobre um conceito.

Você está sentado para almoçar num restaurante. Eis que servem arroz, feijão, bife e batatas assadas. Só que o celular tocou e você não pode deixar de atender. Uns minutinhos depois volta para almoçar. Quando verifica que o arroz e o feijão já esfriaram. O bife ainda dá para comer. Mas as batatas estão “pelando”. Praticamente não esfriaram nada.

Sabemos de nosso cotidiano que as substâncias levem tempos diferentes para esfriar. Ou para adquirir equilíbrio térmico, em linguagem da física. Entendemos isso como um processo típico imposto pela mãe natureza. Entretanto, desenvolvemos mecanismos para aferir esse comportamento natural de forma bem objetiva. Fazemos isso com a introdução do conceito de calor específico. Que, para cada substância, é a quantidade de calor necessária para elevar ou reduzir em 1°C a temperatura de uma dada massa dessa substância, como por exemplo, um grama.

No sistema SI o calor específico é expresso em $\text{J}/(\text{kg}^{\circ}\text{K})$, ou Joule por quilograma por graus Kelvin. Outra unidade muito utilizada na prática é a $\text{cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$, ou caloria por grama por grau Celsius.

Agora posso prosseguir. A cena é a de dez amplificadores de potência montados num rack. Num determinado momento todos os amplificadores estão com temperatura de 80°C . Nesse mesmo momento a temperatura no interior do rack é 20°C .

Os dissipadores de todos os amplificadores são de alumínio. Cada um deles tem massa de 600 gramas. O rack tem uma certa litragem de ar livre, cuja massa é 300 gramas (a massa do ar é tipicamente $1,29 \text{ grama/litro @ } 0^{\circ}\text{C}$).

A pergunta é, qual é a temperatura de equilíbrio desse sistema?

A quantidade de calor cedida por amplificador é dada por termodinâmica:

$$Q_{AMP} = cA \cdot mA \cdot [t - 80] \quad (6.40)$$

onde

- c_A é o calor específico do alumínio = $0,22 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- m_A é a massa de alumínio envolvida, no caso, 600 gramas, e $t - 80$ representando a temperatura de equilíbrio t – a temperatura do alumínio Já a quantidade de calor do ar no interior do rack é

$$Q_{P_{\text{RACK}}} = c_R \cdot m_A \cdot [t - 20] \quad (6.41)$$

onde

- c_R é o calor específico do ar = $0,24 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
 - m_A é a massa de ar envolvida que, como vimos, é 300 gramas, e
 - $t - 20$ representa a temperatura de equilíbrio t – a temperatura do ar no interior do rack
- A soma do calor cedido por todos os amplificadores deve ser igual ao calor recebido pelo ar no interior do rack. Então, posso escrever

$$- 10 \times Q_{\text{AMP}} = + Q_{\text{P}_{\text{RACK}}}$$

ou

$$10 \times Q_{\text{AMP}} + Q_{\text{P}_{\text{RACK}}} = 0$$

Fazendo as contas:

$$10 \times 0,22 \times 600 \times (t - 80) + 0,24 \times 300 \times (t - 20) = 0$$

Desenvolvendo:

$$t = 107.040/1392 \approx 76,9^{\circ}\text{C}$$

Que é nossa resposta.

Ela nos mostra que, no caso particular desse exemplo, o ar contido no interior do rack se aproxima muito de uma condição que veremos logo adiante, denominada CCS, acrônimo para Capacidade de Carga da Sala. Que, entretanto, prefiro chamar saturação térmica.

E na medida em que isso acontece a troca de calor vai ficando cada vez mais difícil. No caso do exemplo, é óbvio que o ar aquecido do interior do rack precisa ser removido. Essa remoção só pode ser feita para o interior da sala onde o rack está. É o que mostra a seta de cor magenta sobre a parte superior do rack.

Assim como o calor transferido dos amplificadores para o interior do rack aumenta a temperatura do ar no interior desse rack, o calor transferido do interior do rack para a sala também aumenta a temperatura do ar na sala. Ora, a temperatura de equilíbrio nesse caso também pode ser calculada. Basta fazer o que fizemos para o ar no interior do rack.

As chances são que essa temperatura seja bem inferior ao que era com o rack. O que resulta do fato da massa de ar presente numa sala típica ser muitas vezes superior ao que ocorria com o rack de nosso exemplo.

Isso significa que, idealmente, o ar aquecido da sala também precisa ser removido. Outro aspecto ilustrado na figura 10 com a seta magenta da parte superior direita da figura.

Se falamos de um único amplificador operando com potência baixa ou média, instalado num grande rack com muito espaço sobrando, as coisas se processam naturalmente, sem nenhuma necessidade de interferências drásticas. Por outro lado, se falamos de muitos amplificadores e de uma variedade de aparelhos digitais – grandes geradores de calor – instalados em alguns ou muitos racks com pouco espaço sobrando, as coisas são completamente diferentes e exigem cuidados especiais. Mormente se esses racks são instalados em salas confinadas.

Essa é a lógica das coisas. Agora, vejamos como gerenciar essas questões de maneira

tecnicamente correta. Sim porque a solução desses problemas não pode ser formulada de modo vago e sem fundamentos técnicos que estabeleçam, com segurança, o arrefecimento térmico do sistema, independentemente de seu tamanho.

Daí a enorme importância da Gerência Térmica.

6.8.5 calor gerado pelos equipamentos 6.8.5.1 Mixers



figura 6.79 fonte de mixer instalada separadamente em subrack acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Os mixers de pequeno porte, e alguns de médio porte, possuem fonte de alimentação integrada. Nesse caso, a troca de calor se processa naturalmente. Não há necessidade de se considerar essa questão na gerência térmica, exceto lembrar que é obrigatório seguir todas as recomendações oferecidas pelo fabricante nesse sentido. Para trazer um exemplo concreto. A especificação de consumo energético do mixer Behringer digital X32 é 120 watts.

Há mixers, geralmente de maior porte, que possuem fonte de alimentação separada. Nesses casos há duas possibilidades. Instalar a fonte num rack de equipamentos com os demais aparelhos ou instalar a fonte do mixer num subrack bem próximo do próprio mixer.

Veja na figura 6.79 uma fonte separada instalada num subrack bem próximo do local definitivo para o mixer. Essa foi minha opção no caso da instalação do sistema de som que fizemos no Gran Teatro Nacional de Lima, Peru.

6.8.5.2 Processadores Na maioria dos processadores e outros equipamentos que não amplificadores, o arrefecimento térmico é feito através do chassi metálico. Ou seja, quase todo o calor gerado pelos componentes é dissipado através de pequenos dissipadores metálicos mecanicamente acoplados ao chassi metálico. Nesses casos, devemos remover o calor com ou sem arrefecimento forçado no interior do rack.

Racks exclusivos para processadores e outros equipamentos similares, sem amplificadores de potência, podem, em muitos casos, operar sem arrefecimento forçado. Ou seja, sem ventoinhas. A simples convecção pode ser suficiente.

Mas há muitos processadores e aparelhos que não pertencem à classe dos amplificadores que são dotados de grelhas de ventilação.

Veja os exemplos da figura 6.80. No processador do lado esquerdo e acima da figura as grelhas são laterais. O aparelho à direita deste mostra aberturas para ventilação no tampo superior, organizadas em carreiras apenas no lado direito do aparelho.

No lado esquerdo abaixo na figura está um processador com grelhas laterais. Ao lado direito deste está um processador com aberturas no tampo superior.



figura 6.80 processadores dotados de grelhas de ventilação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há processadores com grelhas nas laterais e no tampo superior. Outros, exibem grelhas no tampo inferior e no tampo superior. E assim por diante.

6.8.5.3 Amplificadores Alguns poucos amplificadores profissionais possuem dissipadores grandes em sua parte traseira. Há modelos assim projetados para uso comercial e outros para uso profissional.

A ideia é que esses aparelhos sejam utilizados em instalações de pequeno porte, no qual o arrefecimento térmico usualmente não é nenhum grande inconveniente.

Portanto, estamos falando de amplificadores de pequeno porte. Outrossim, vez por outra encontramos amplificadores profissionais com essa configuração, e com altura relativamente elevada.

Veja na figura 6.81.



figura 6.81 amplificador com dissipador traseiro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outros amplificadores possuem dissipadores laterais, como é o caso do Acustavoice, que projetei no início

dos anos 80. Veja na figura 6.82 o aparelho com a tampa superior removida e os dissipadores laterais.



figura 6.82 amplificador Acustavoice, desenhado pelo engenheiro Luiz Fernando Otero Cysne acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Entretanto, a grande maioria dos amplificadores profissionais utiliza túneis de ventilação, com ventoinhas insuflando ar da frente para a parte traseira, como na figura 6.83.

Lá está um amplificador Crown, modelo XLC2800.

Especificações de potência 400 watts @ 8Ω estéreo, 775 watts @ 4Ω estéreo e 1200 watts @ 2Ω. O ar frio é insuflado pelo painel frontal e o ar quente que removeu o calor do aparelho é removido através dos dois exaustores localizados no painel traseiro do chassi. Por isso mesmo chamados de amplificadores de aspiração frontal.



figura 6.83 amplificador Crown International, modelo XLC 2800
cortesia Crown International



figura 6.84 amplificador Crest profissional, modelo CA18
cortesia Crest Audio O amplificador Crest profissional, modelo CA18, 1800 watts @ 4Ω estéreo e 2500 watts @ 2Ω estéreo é o que mostra a figura 6.84. Ao contrário do que acontece com o Crown XLC 2800, no Crest CA18 o ar frio é insuflado por duas ventoinhas localizadas na parte traseira do

chassi e o ar quente que removeu calor do aparelho é retirado através de duas grelhas de exaustão localizadas no painel frontal do amplificador. Note que as aberturas frontais são bem maiores do que a área de acesso de cada ventoinha traseira.

Amplificadores como o Crest CA18 são denominados de aspiração traseira.

Agora, por favor, concentre-se na figura 6.85. Você vê seis amplificadores de potência, todos com grelhas de ventilação distribuídas pelos tampos superiores e/ou laterais. Note que os tamanhos e a distribuição das áreas das grelhas nos tampos superiores variam consideravelmente de aparelho para aparelho. Veja também que, como no caso dos processadores, muitos amplificadores estão equipados com grelhas nas partes laterais das carcaças metálicas. Também aqui com muitas variações de áreas e de distribuição.



figura 6.85 amplificadores de potência equipados com grelhas de ventilação cortesia Crown International O amplificador ao centro da parte superior da figura 17, um Behringer Referência modelo A500, possui o tampo todo cheio de ranhuras para ventilação, além dos dissipadores que ocupam completamente as duas laterais do aparelho.

Todas essas particularidades dos aparelhos deverão ser consideradas quando o projetista estiver definindo a Gerência Térmica de um dado projeto.

6.8.6 princípios gerais Os princípios gerais adiante alinhados são praticamente regrinhas de bom senso que, ao longo de muitas décadas, foram se consolidando como normas de boa engenharia. E nessa trajetória sofreram vários aperfeiçoamentos. As linhas que seguem procuram resumir em muito pouco espaço o caldo de muito esforço e depuração de especialistas que se empenharam para que chegássemos ao ponto que chegamos hoje.

- todo o ar injetado ou admitido no rack para efeito de refrigeração deve ser, sempre que possível, filtrado para evitar a poeira, cujo principal efeito é reduzir consideravelmente a capacidade de troca de calor de todos os equipamentos
- de preferência as saídas de ar devem ficar localizadas próximas dos aparelhos que geram mais calor
- o tamanho somado de todas as saídas de ar do rack deve ser no mínimo 1,5 vez maior que o tamanho somado de todas as entradas de ar
- se forem percebidas áreas específicas com temperaturas consideradas elevadas, deve-se utilizar ventoinhas adicionais para refrigerar essas regiões
- quando se pensa em gerência térmica, o rack escolhido deve oferecer possibilidade de ser totalmente fechado em sua parte superior, em sua base inferior, nas duas laterais e, ainda, possuir portas frontal e traseira integrais e seladas quando fechadas, recursos que possibilitam controlar

melhor o fluxo de ar • ventoinhas instaladas nas partes inferiores dos racks são mais eficazes porque tiram partido da vantagem da convecção natural • quando o rack é muito alto e a necessidade de arrefecimento é elevada, é melhor ter duas ou mais ventoinhas distribuídas do que uma só de grande capacidade, especialmente quando prevalecem as seguintes situações: são utilizados equipamentos com grandes profundidades, quando a hermetização do rack deixa a desejar e/ou quando a pressão de ar não é uniforme por todo o interior do rack • quando o rack fica fisicamente congestionado em sua parte traseira, impondo restrições ao fluxo de ar, o melhor é utilizar rack com mais profundidade de modo a desimpedir o fluxo vertical de ar • devemos estar preparados para especificar painéis cegos e painéis tipo veneziana nas faces frontais e traseira, conforme necessidade de cada caso, de modo a exercer controle total sobre o fluxo de ar no interior do rack • do ponto de vista térmico, de preferência devemos instalar os equipamentos que produzem mais calor nas partes mais altas do rack, o que é especialmente aplicável quando não se utiliza arrefecimento forçado.

- é preciso considerar o fluxo de ar natural de amplificadores equipados com ventoinhas e de outros aparelhos, como fontes de energia também equipadas com ventoinhas internas.

6.8.7 técnicas de remoção de calor dos racks A seguir vamos discutir uma longa série de técnicas de remoção de calor dos racks, cada uma delas aplicável a um conjunto de circunstâncias.

6.8.7.1 O Método Passivo Numa sala com temperatura considerada regular, digamos algo entre 18 e 23°C, um rack de tamanho normal, como 36 UR e largura padrão 19”, pode dissipar sem a ajuda de ventoinhas ou outros dispositivos ativos, portanto, apenas por convecção natural, até um limite aproximado de 500 watts que foram antes transformados em calor.

A primeira técnica utilizada para remover o calor no interior de um rack de equipamentos se baseia, portanto, em aproveitar as dádivas da natureza. Para tanto, é preciso fazer as coisas de modo a usufruir das correntes de convecção. Mas não é apenas isso. Também é preciso tomar medidas para não atrapalhar o fluxo natural.

Imagino que alguns de vocês podem estar pensando que estou dizendo o óbvio. Mas faço questão de colocar isso porque verifico na prática, isto é, no dia a dia das montagens de racks de equipamentos, que as regrinhas mais rudimentares e despretensiosas são afrontadas com frequência assustadora. Aparentemente sem qualquer bom motivo que justifique tais ações anti naturais e que contrariam as boas práticas da engenharia.

Afinal, é muito importante manter a eficiência do processo em alta porque a convecção natural traz duas vantagens intrínsecas: é absolutamente confiável e sua operação se processa continuamente sem paradas.

1ª regra

Quando lidamos com métodos passivos de remoção de calor de racks de equipamentos, a primeira regra a observar é que as correntes de convecção pressupõem a entrada de ar fresco e a saída do ar aquecido. Portanto, precisamos definir onde devem ficar as grelhas de admissão para a entrada do ar fresco e onde devem ficar as grelhas de exaustão para a saída do ar aquecido.

Pelo que discutimos anteriormente, a estas alturas deve parecer claro que as grelhas de admissão devem ficar nas partes inferiores dos racks, porquanto as grelhas de exaustão devem ficar nas partes superiores.

Essa forma de ventilação natural é denominada ventilação de deslocamento. Sua principal característica é promover uma estratificação de temperatura no interior do rack.

2ª regra

Se as grelhas forem muito pequenas, o fluxo de ar dentro do rack só pode ser mantido se a velocidade aumentar. Ocorre que o aumento de velocidade também acarreta aumento de fricção do ar nas grelhas, com perda na eficiência da refrigeração.

Logo, os tamanhos das grelhas também são importantes.

Considere que para remover continuamente 500 watts de calor do interior de um rack a área da grelha de exaustão deve ser de, no mínimo, 1.000 cm². A área da grelha de admissão, ou a soma das áreas das grelhas de admissão, deve ser no mínimo o dobro da área da grelha de exaustão. Dessa maneira a vazão aumenta cerca de 30% em comparação com casos em que as áreas das grelhas de admissão e de exaustão são iguais.

Se você é do tipo chegado a contas, a expressão que possibilita calcular com muita acuidade a área das grelhas é:

$$A_{GE} = \frac{2 \cdot Q_E \cdot \rho_E \cdot \phi_K}{\sum_{j=1}^n K_j \cdot \phi_j \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{ar} \cdot |\Delta P_j|}} \quad (6.42)$$

onde:

- A_{GE} é a área de qualquer quantidade de aberturas que vier a ser definida
 - Q_E é a vazão de entrada
 - ρ_E é a massa específica do ar externo
 - ϕ_K é a fração de área de abertura necessária em relação à área de todas as aberturas
 - ρ_{ar} é a massa específica do ar, e
 - $|\Delta P_j|$ é a diferença de pressão do ar na abertura
- Para que você se situe com relação à pressão, veja na figura 6.86 como varia a pressão em função da altura de um rack, supondo uma única abertura no centro da porta traseira.

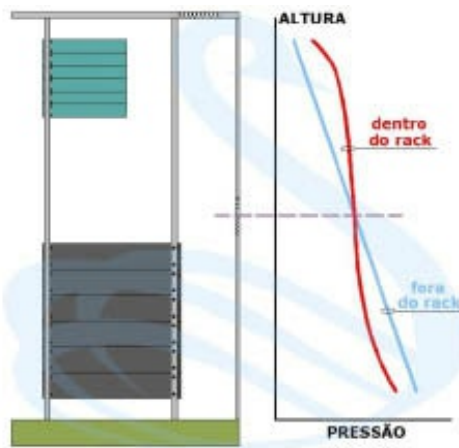


figura 6.86 variação de pressão em função da altura do rack, referenciada à abertura no centro da porta traseira acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 3ª regra

Uma das coisas que verifico com extraordinária frequência é a interposição de obstáculos que, inadvertidamente, acabam bloqueando em maior ou menor grau o livre fluxo das correntes de convecção.

A julgar pelos casos com os quais me deparo, a razão principal desse inconveniente é o uso de racks de equipamentos com pouca profundidade para os equipamentos instalados.

A solução me parece bem simples. Os racks devem ser especificados para que haja uma coluna para a passagem do ar com área de seção transversal mínima não inferior à da área da grelha de exaustão, ou da soma das áreas das grelhas de exaustão combinadas.

4ª regra

Essa é a parte onde a estratégia começa a entrar em campo. Estou me referindo à organização dos equipamentos no interior do rack.

Tal organização depende essencialmente das características específicas de cada equipamento. Especialmente se eles são providos de dissipadores, ou se são refrigerados por meio de ventoinhas. E, também, se são providos de grelhas de ventilação. Claro que tamanhos e localizações dessas grelhas são elementos que entram nas considerações.

Quando se posicionam aparelhos com grelhas de ventilação, seja nas laterais, seja nos tampos superiores, seja nas bases inferiores, em nenhuma hipótese essas grelhas devem ser obstruídas. O que significa que grelhas inferiores e/ou superiores exigem espaçamento entre os aparelhos e, eventualmente, painéis aletados na parte frontal do rack, precisamente entre esses aparelhos.

Com equipamentos dotados de grelhas em suas partes laterais, o projetista deve cuidar para que haja bastante espaço de sorte que as correntes de convecção possam ocupar essas colunas livremente, sem quaisquer obstruções.

Se a temperatura máxima da sala não ultrapassar 26°C, os amplificadores podem ser instalados nas partes inferiores dos racks. Entretanto, para temperaturas ambiente mais elevadas que 26°C é recomendável instalar os amplificadores nas partes mais elevadas dos

racks, de modo que eles fiquem mais próximos das grelhas de exaustão.

Isso assegura que as correntes ascendentes portando grandes quantidades de calor tenham trajeto tão reduzido quanto possível.

É preciso lembrar que amplificadores instalados nas partes mais altas dos racks tendem a elevar os centros de gravidade. Aumentando a instabilidade mecânica dos racks. Por essa razão, tal técnica só deve ser implementada em racks fixos, devidamente ancorados no piso. Nunca em racks instalados sobre carros móveis ou equipados com rodízios.

5ª regra

Quando usar e quando não usar aberturas nas partes laterais dos racks e, principalmente, nas portas frontal e traseira?

Vamos começar com uma reflexão.

A pressão interna mais elevada na grelha de exaustão superior do rack é a responsável pela expulsão do ar do interior do rack. Por outro lado, a pressão interna mais reduzida na grelha de admissão do rack “suga” o ar frio externo, que aos poucos vai ocupando o espaço deixado livre pelo ar quente que sobe e que, finalmente deixa o rack pelo mecanismo descrito acima.

Esse empuxo térmico é a força motriz do fluxo de convecção natural do ar. O efeito é conhecido como “efeito chaminé”.

Em condições normais de pressão e de temperatura o efeito chaminé ocorre de forma muito natural e eficaz.

E se introduzirmos grelhas intermediárias? Como regra geral isso não é recomendado porque pode promover sérios distúrbios nas correntes naturais de convecção. Como veremos. Mas também veremos que há casos em que isso é perfeitamente possível.

Nesse momento o que quero que você saiba é que incluir ou não grelhas intermediárias é algo que não pode ser feito de forma impensada. Há sempre consequências. Que podem ser boas ou nocivas. Nossas atitudes devem estar encaminhadas para obter as boas e não permitir que as nocivas venham a ocorrer.

estratégia #1

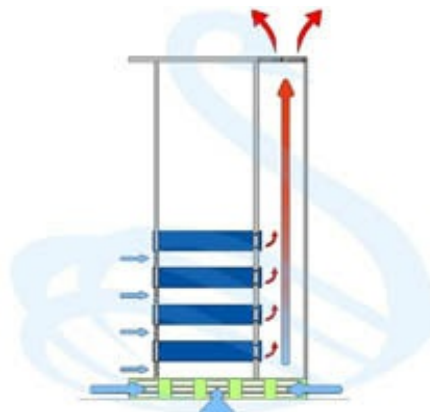


figura 6.87 montagem passiva com amplificadores desprovidos de ventoinha acervo do engº Luiz

Fernando O. Cysne Quando o rack abriga amplificadores desprovidos de ventoinhas é possível pensar em instalar painéis aletados entre os painéis frontais dos amplificadores. As áreas dessas entradas se somam com as áreas das grelhas de admissão inferiores do rack. Aumentado bem a relação entre a área total de entrada e a área das grelhas de exaustão superiores. Como na figura 6.87.

Como vimos quando discutimos há pouco a 2ª regra, se a área total das grelhas de admissão é o dobro da área da grelha de exaustão, então a vazão aumenta em aproximadamente 30% tendo como referência a igualdade entre as áreas das grelhas de admissão e as de exaustão.

Se os amplificadores estão equipados com grelhas em seus tampos superiores e/ou interiores, os painéis aletados entre os amplificadores ajuda a conduzir o calor dos aparelhos para a coluna traseira do rack, por onde corre o fluxo de convecção mais intenso.

Se os amplificadores não possuem grelhas em suas partes laterais a admissão de ar fresco inferior pelas laterais da base do rack pode ser bloqueada.

Se houver processadores com grelhas laterais instalados acima dos amplificadores, então não é recomendado bloquear as entradas laterais inferiores da base do rack.

Uma boa alternativa para esse caso é usar aberturas nas laterais metálicas do rack, aberturas essas que devem estar localizadas pouco abaixo do processador inferior.

Estamos longe de cobrir todas as alternativas aqui. Mas você pode tomar todas as informações que acabamos de discutir como ponto de partida ajustável a outras eventuais situações.

estratégia #2

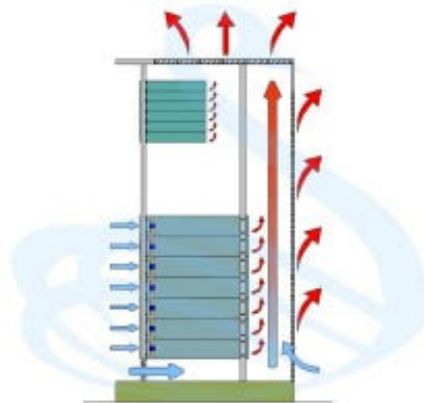


figura 6.88 montagem passiva com amplificadores providos de ventoinha com admissão frontal acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.88 mostra um rack contendo amplificadores nos quais o ar frio é insuflado pelos painéis frontais e o ar quente é removido através de exaustores localizados nos painéis traseiros dos mesmos amplificadores.

Importante mostrar a você que nesses casos, se os amplificadores não possuem grelhas inferiores nem superiores, então o melhor a fazer é não deixar nenhum espaço entre aparelhos, exatamente como na figura.

Um ou mais painéis aletados montados na parte frontal do rack imediatamente abaixo dos amplificadores ajuda a aumentar a área de admissão de ar frio.

Ao invés de permitir a entrada do ar frio por grelhas na base do rack, a porta traseira

possui várias grelhas, as quais podem ser mantidas ou bloqueadas para facilitar o fluxo de ar no interior do rack. Ao menos um conjunto de entradas traseiras na parte inferior é o suficiente para permitir o acesso do ar frio necessário.

Aberturas acima dessa na porta traseira possibilitam a exaustão parcial do ar já aquecido pelos amplificadores montados mais abaixo. Como sugere a figura 6.88.

A figura 6.89 mostra um rack metálico de equipamentos visto por trás.

Observe que a porta traseira é aletada ao longo de praticamente toda sua altura, com seis colunas de aletas. Três do lado esquerdo e outras três do lado direito.

Ao centro fica uma região sem ranhuras, já que a ideia principal é atender amplificadores de dois canais com ventoinhas nos lados esquerdo e direito.

Essas aberturas podem ser mantidas como estão. Mas também podem ser bloqueadas com painéis cegos superpostos sobre as aberturas que se quer obstruir. Os painéis podem ser simplesmente colados sobre as portas, por dentro ou por fora, como também podem ser parafusados ou rebitados para mais segurança ao longo do tempo.

Alguns fabricantes estão preparados para customizar as aberturas das portas de acordo com desenhos que o projetista pode gerar.



figura 6.89 rack com porta traseira aletada ao longo de quase toda sua altura acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #3

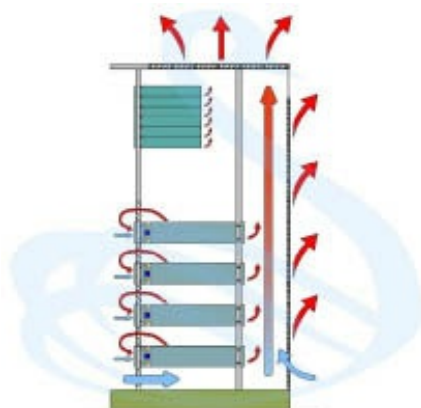


figura 6.90 montagem passiva com problemas que comprometem muito a refrigeração dos aparelhos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No caso da estratégia #3, vamos ver um caso que devemos evitar a todo custo e não implementar como regra de boa engenharia.

Atenção para a figura 6.90.

Veja que ao invés de empilhar amplificadores uns sobre os outros diretamente, como na

figura 6.88, agora foram previstos espaços entre os amplificadores.

Creio que todo e qualquer técnico que tenha um mínimo de experiência com instalação de sistemas profissionais de áudio já testemunhou casos semelhantes, nos quais os espaços frontais entre os painéis dos amplificadores foram preenchidos com painéis aletados.

Isso deve ser evitado a todo custo. Porque é grande a possibilidade de que tais arranjos provoquem a recirculação de ar quente, como mostra a figura.

Vimos que os amplificadores de potência estão equipados com túneis de refrigeração que recebem o ar fresco do ambiente por seus painéis frontais e os exaurem pelos painéis traseiros (aspiração frontal), ou o contrário no caso dos amplificadores de aspiração traseira. Portanto, esses túneis são as vias principais para o deslocamento do fluxo de calor. Mas isso não quer dizer que todo o resto do aparelho permanece na temperatura ambiente.

De fato, os túneis de refrigeração retiram o calor dos transistores de saída, que são os componentes que trabalham com correntes elétricas elevadas e, portanto, são os que mais aquecem. Outrossim, transformadores, capacitores, diodos retificadores e todos os demais componentes, inclusive fios condutores, também se aquecem.

Todo esse calor acaba subindo até o local mais alto dos aparelhos, que é a tampa superior metálica. Onde, por efeito de radiação térmica, o calor também deixa o aparelho naquele processo onde a natureza caminha para obter o equilíbrio térmico entre a carcaça do aparelho e o ar que o cerca.

Esse é o calor indicado com as pequenas setas vermelhas localizadas na figura 22 próximas às carcaças dos amplificadores.

Como nessa montagem os amplificadores foram separados por espaços, e entre os painéis frontais dos amplificadores foram instalados painéis aletados, esse calor vai procurar a região onde a temperatura é mais baixa. Que é na parte externa do rack. Portanto, boa parte do calor que deixa as tampas superiores de todos os amplificadores passa de dentro dos painéis aletados para o lado externo, onde acaba sendo “sugado” pelas ventoinhas frontais dos próprios amplificadores. Ou seja, parte do calor produzido pelos amplificadores acaba sendo reinjetado em suas ventoinhas, que só deveriam receber ar fresco.

Essa é a anatomia do curto-circuito térmico cujo principal atributo é reduzir drasticamente a eficiência do arrefecimento por convecção natural.

Esse problema é decorrência do fato dos painéis aletados ficarem muito próximos das fontes de calor, representadas pelas partes metálicas superiores das carcaças dos amplificadores e, ao mesmo tempo, muito próximos das ventoinhas dos amplificadores que aspiram ar. Inclusive parte do ar quente gerado pelos próprios amplificadores. Eis porque essa montagem não deve ser feita em nenhuma hipótese. Portanto, o ideal é fazer a montagem como

na figura 6.88.



figura 6.91 racks de equipamentos com todos os espaços entre aparelhos preenchidos com painéis cegos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quem quiser deixar um espaço entre os amplificadores – o que não é recomendado – deve ao menos fechar os vãos entre os amplificadores com painéis cegos, como os que você pode ver nos três racks da figura 6.91.

A propósito, devo dizer que para otimizar o fluxo de convecção natural o ideal é hermetizar todos os vãos, fissuras e brechas dos racks, a fim de evitar interferências fora de controle.

6.8.7.2 O Método Ativo da Exaustão Há um limite de quantidade de calor no interior do rack além do qual ele não pode mais ser removido por convecção natural simples. Eis porque a partir dessa fronteira torna-se obrigatório partir para métodos ativos. É nesse contexto que entram em cena as ventoinhas e os ventiladores.

Vejamos mais detalhadamente qual é a função desses acessórios.

No momento em que usamos uma ventoinha ou um ventilador como exaustor de um rack razoavelmente hermetizado, provocamos uma certa redução da pressão no interior do rack em relação à pressão na região externa do rack.

Considero fundamental que o leitor compreenda muito bem esse conceito porque o uso de ventoinhas e ventiladores como exaustores, provocando ventilação por pressão negativa, é a forma mais comum de remover calor do interior de racks de equipamentos numa parte significativa de sistemas profissionais de som.

Além disso, a ventilação por pressão negativa é o método mais fácil e mais eficaz de controle da troca de ar no interior dos racks de equipamentos.

Assim, as ventoinhas e ventiladores ajudam a expulsar com eficiência o ar quente para fora do rack. O que cria espaço para que o ar fresco seja aspirado para o interior do rack, substituindo

o ar quente que lá estava imediatamente antes. Os ciclos se repetem assim indefinidamente porquanto durar a operação.

Vejamos agora algumas estratégias que já fazem parte do acervo da Gerência Térmica.

estratégia #4

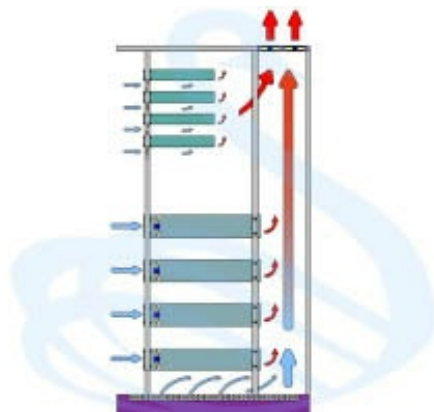


figura 6.92 rack equipado com ventoinhas no tampo superior acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.92 mostra um rack com amplificadores, todos equipados com ventoinha e admissão frontal de ar fresco, além de grelhas de ventilação em suas partes superiores. Acima do bloco dos amplificadores foram montados alguns processadores, também equipados com grelhas de ventilação nos respectivos tampos superiores.

Note que a face vertical frontal do rack é contínua, exceto pelos painéis aletados imediatamente abaixo dos processadores.

A porta traseira é sólida e não contém nenhuma grelha ou abertura para ventilação.

A admissão do ar fresco é feita pela parte inferior do rack, através de um filtro instalado horizontalmente. Sua função é reter a poeira, particulados em suspensão no ar, poluentes associados com a atividade humana tal como o CO₂, biocontamionantes, fumaça de cigarro, formaldeídos e tantos outros, o que pode acarretar problemas de arrefecimento a médio e longo prazos. Além disso os filtros protegem muito os equipamentos digitais de problemas relacionados com os chamados “particulados higroscópicos”.

Ou seja, partículas capazes de absorver umidade do ambiente. Especialmente em ambiente úmidos, tipicamente aqueles com grau de umidade relativa acima de 65%.

Sem essa proteção a umidade dos particulados acaba sendo depositada nas placas de circuitos impressos e conexões elétricas mais expostas. Processadores em geral, especialmente DSPs muito rápidos, são as vítimas mais contumazes desse mal invisível mas sempre possível.

Os filtros também retêm a maioria dos agentes poluentes que ajudam a contaminar todos os aparelhos instalados no rack. Importante observar que os filtros devem ser trocados periodicamente durante manutenções preventivas de modo a manter todo o arrefecimento funcionado no potencial máximo de sua eficiência.

Há uma grande variedade de filtros que podem ser usados nesse processo, começando com os fornecidos pelos fabricantes de racks. Alternativamente podem ser empregados filtros próprios para sistemas de ar condicionado.

Costumo recomendar com vigor o uso de filtros na admissão de ar fresco dos racks porque a maioria das fontes de alimentação de aparelhos digitais são equipadas com ventoinhas próprias para exaustão, mas sem filtros em suas próprias entradas de ar externo.

É relativamente fácil avaliar a importância relativa dos filtros.

Basta verificar a quantidade de poeira e de partículas que se acumula num dado ambiente após um certo tempo.

Voltando ao rack da figura 6.91, o seu tampo superior está equipado com ventoinhas que operam como exaustores, removendo mecanicamente o ar aquecido para fora do rack.

É fundamental que a vazão volumétrica (CFM) de todas as ventoinhas ou ventiladores utilizados na exaustão seja superior à vazão volumétrica das ventoinhas de todos os amplificadores utilizados bem como dos demais aparelhos instalados no rack. Na maioria dos amplificadores a vazão volumétrica de cada ventoinha está entre 20 e 50 CFM.

Essa providência simples evita a formação de áreas concentrando calor em determinados pontos no interior do rack.

A turbulência é sempre desejada porque pode promover a recirculação do ar quente pontual pelo interior do rack. Esses pontos mais quentes devem ser evitados uma vez que as ventoinhas dos amplificadores sugam ar.

O arranjo da figura 24 favorece muito a remoção de calor e pode ser projetada para praticamente quaisquer quantidades de calor produzidas pelos aparelhos.

estratégia #5

Na figura 6.93 um rack com os mesmos equipamentos que os da figura 6.92.

Portanto, a estratégia #5 é bem parecida com a #4.

A diferença está na admissão do ar frio pelo rack que agora não se dá mais pela parte inferior da base do rack, mas por painéis aletados de admissão instalados na face frontal vertical do rack, imediatamente abaixo do amplificador inferior na montagem e, também, por grelhas ou aberturas de admissão instaladas na parte mais baixa da porta traseira do rack.

Como no caso anterior, a capacidade das ventoinhas superiores deve exceder o CFM total dos equipamentos instalados no rack.

É fundamental que a área total dos painéis e grelhas de admissão excedam bem a área das ventoinhas de exaustão.

Tipicamente nada menos do que o dobro daquela área.

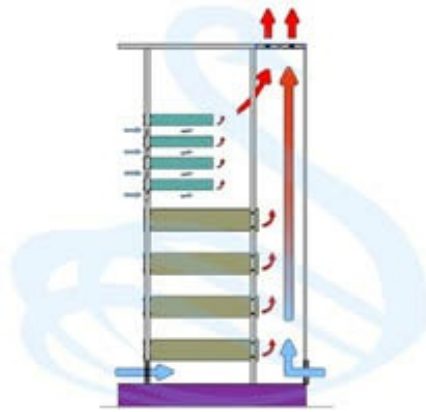


figura 6.93 rack semelhante ao da figura 6.92, porém com admissão de ar feita por painel aletado imediatamente abaixo do painel frontal do amplificador inferior, e por abertura de admissão na parte mais baixa da porta traseira acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Note que exceto pelas aberturas inferiores, a porta traseira não possui nenhuma outra ranhura, grelha ou abertura para comunicação com o espaço exterior. Essa ação ajuda muito a remover o calor do interior do rack. Como no caso anterior, é possível projetar essa forma de arrefecimento para praticamente quaisquer quantidades de calor produzidas pelos aparelhos.

estratégia #6

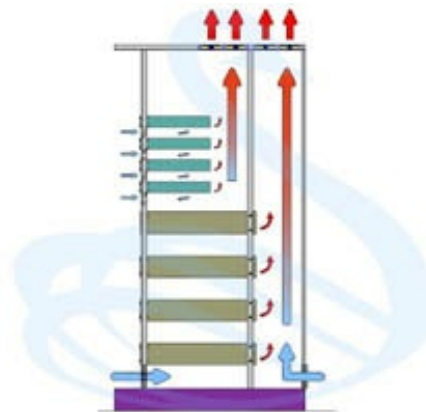


figura 6.94 montagem característica da estratégia #6

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Todas essas estratégias de arrefecimento que estamos discutindo e que contam com a ajuda de ventoinhas de exaustão propiciam redução radical da temperatura interna do rack. Desde que tudo seja feito corretamente, sem falhas conceituais aplicadas na prática.

Um ponto a observar com muito cuidado é onde instalar as ventoinhas de exaustão. O tampo superior do rack é sempre uma excelente opção. Mas isso não é tudo. É preciso que as ventoinhas fiquem verticalmente alinhadas com a coluna de ar quente ascendente. Ou as correntes de convecção serão obrigadas a mudar de direção com perda de eficiência. Veja na figura 6.94 que há um grupo de ventoinhas que em princípio atende à coluna ascendente proveniente dos amplificadores, mais profundos e, um segundo grupo mais à frente, que atende principalmente à coluna ascendente produzida pelos processadores instalados acima dos amplificadores.

A admissão é feita como no caso da figura 6.93. Mas também é perfeitamente possível promover a admissão como no caso da figura 6.92. Esta última fórmula é preferida quando o rack é instalado fixado no piso de forma permanente. A admissão acima da base do rack é mais recomendada para racks equipados com rodízios ou bases móveis.

estratégia #7

Um dos mandamentos fundamentais do método ativo de exaustão é localizar a entrada de ar e a ventoinha de exaustão o mais afastado possível uma da outra. Preferencialmente, a entrada de ar fica nas partes inferiores do rack e a ventoinha fica nas partes superiores.

Na prática, entretanto, essa regra, que é até mesmo questão de bom senso, acaba sendo rotineiramente desrespeitada.

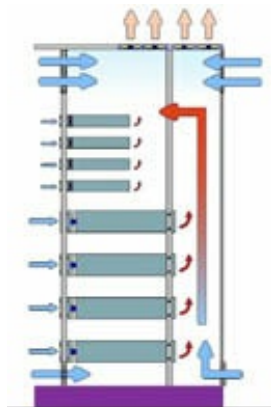


figura 6.95 grelha de ventilação muito próxima da ventoinha de exaustão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja a figura 6.95. Há entrada de ar pelas partes inferiores do rack e ventoinhas de exaustão no tampo superior, como estabelecem as regras. Ocorre que nesse particular caso foram previstas entradas de ar na parte superior da porta traseira e na parte superior da face frontal do rack.

O que acontece em casos assim é que as ventoinhas superiores acabam “sugando” o ar frio que entra pelas aberturas superiores traseiras e frontais, estabelecendo caminhos próprios e indesejados porque eles praticamente isolam a corrente de ar quente ascendente que deveria ser removida do rack.

Se víssemos essa situação como numa fotografia, veríamos o que mostra a figura 6.95. Vendo isso alguém poderia indagar: mas se é assim porque o ar quente que vem de baixo não toma o lugar do ar frio que está na parte superior do rack? Porque as coisas não se passam como numa fotografia, mas sim como num filme.

Ou seja, o ar frio que aparece como uma nódoa na parte superior do rack da figura 6.95, não é algo estático mas sim dinâmico, formando uma corrente de ar que entra por trás e sai por cima e outra, que entra pela frente e também sai por cima. Essas correntes impedem que o ar quente possa ser totalmente removido, já que uma parte dele acaba penetrando nas correntes superiores de ar frio e é ejetada para o exterior.

Portanto, observe bem o segundo mandamento: quando os racks forem equipados com ventoinhas superiores de exaustão, jamais use aberturas ou painéis de ventilação nas partes superiores dos racks. Nem nas portas traseiras, nem nas faces verticais no alinhamento dos aparelhos e, ainda, nem nos fechamentos laterais.

estratégia #8

Pelo que acabamos de ver, o método ativo da exaustão pode ser entendido como sendo uma

seqüência lógica de entrada de ar sem auxílio de dispositivos seguida da exaustão por meio de ventoinhas que ajudam a remover o ar quente do interior do rack.

Confere?

Ratifico que a forma mais eficiente de fazer isso é localizando as entradas de ar nas partes inferiores dos racks e as ventoinhas de exaustão nas partes superiores.

Em casos onde a quantidade de calor a ser removido é relativamente reduzida, apenas uma ventoinha pode ser suficiente. Evidentemente, essa ventoinha única deve ser dimensionada para fazer o trabalho com eficiência. Outras vezes se especifica um tampo superior, ou sistema equivalente, com duas, quatro, seis ou mais ventoinhas. Como na figura 6.96.



figura 6.96 sistemas com múltiplas ventoinhas para arrefecimento forçado em racks de equipamentos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

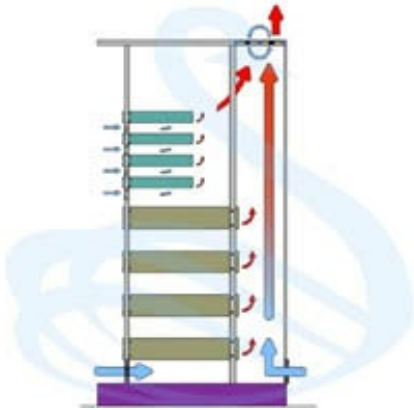


figura 6.97 curto-circuito térmico em montagem multiventoinhas, porque uma delas deixou de funcionar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando se parte para uma solução multiventoinhas é preciso monitorar permanentemente o funcionamento de cada uma das ventoinhas.

Muitos técnicos até preferem empregar muitas ventoinhas imaginando que se uma delas parar de funcionar as demais ainda poderão dar conta do recado.

Não caia nessa premissa falsa.

Quando uma das ventoinhas deixa de funcionar, essa unidade defeituosa estabelece um caminho para que o curto-circuito térmico ocorra.

Como na figura 6.97.

Dessa forma, não só a ventoinha danificada não remove mais calor do interior do rack, mas ela ainda reduz a capacidade de remoção de calor das demais ventoinhas, podendo comprometer significativamente a refrigeração de todo o rack.

O mecanismo que provoca o curto circuito térmico é o mesmo que aquele produzido por uma grelha de ventilação instalada muito próxima de uma ventoinha.

Como no caso da figura 6.95.



figura 6.98 sensor de corrente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A monitoração pode ser feita remotamente através de sensores de corrente, como o da figura 6.98, ou com um LED associado a cada ventoinha ou com o uso de câmeras de vídeo mostrando diretamente as imagens de todas as ventoinhas.

estratégia #9

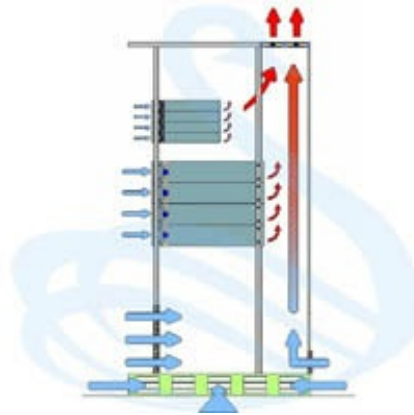


figura 6.99 arranjo de rack apropriado para salas com temperatura elevadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #9 é especialmente recomendada para casos de salas relativamente quentes, tipicamente com temperaturas iguais ou acima de 28°C e racks contendo amplificadores com aspiração frontal.

Pois bem, a estratégia consiste em montar os amplificadores nas partes mais elevadas do rack, como mostra a figura 6.99. O objetivo principal disso é reduzir significativamente o trajeto físico das correntes de ar mais quentes, que são as que transportam o calor proveniente das partes traseiras dos amplificadores.

As entradas de ar podem ser escolhidas livremente, desde que implementadas nas partes mais baixas do rack. Inclusive através de aberturas nas partes inferiores da porta traseira. Como na figura, painéis aletados frontais também são permitidos nesta estratégia.

Aberturas para acesso de ar além dessas não são permitidas. Casos haja, elas deverão ser tapadas com painéis cegos ou elementos adesivos de bloqueio.

Quando discutimos os métodos passivos de remoção de calor dos racks, vimos na 4ª regra que amplificadores instalados nas partes mais altas dos racks tendem a elevar os centros de gravidade dos racks montados. Aumentando sua instabilidade mecânica. Concluímos, então, que isso é razão suficiente para não ser implementado em caso de racks não fixos, assim entendidos aqueles que não são devidamente ancorados no piso.

Isto é, não se pode aplicar a estratégia #9 em racks instalados sobre carros móveis ou equipados com rodízios.

estratégia #10

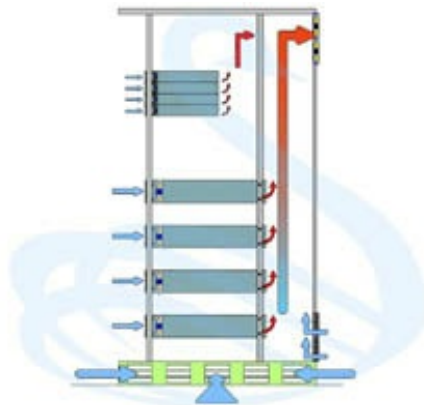


figura 6.100 variação de arranjo da figura 6.99

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #10 é, na verdade, uma variação da estratégia #9.

Com efeito, a exaustão de ar, que antes era feita pela parte superior do rack, agora é feita apenas pela parte traseira. Para tanto, são instaladas ventoinhas de exaustão nas partes superiores da porta traseira do rack. Como mostra a figura 6.100.

Há muito tempo atrás mostrei esses dois desenhos a um amigo, conhecido projetista de sistemas profissionais de áudio na Colômbia. Ele me perguntou porque pensar nessa estratégia #10 se a estratégia #9 já atendia às necessidades.

Respondi que vez por outra os racks são tão elevados que mal cabem em suas salas. Quando isso ocorre, o espaço acima do rack fica muito limitado e a eficiência do processo de remoção de calor acaba sendo prejudicado. Vou lhes dar um exemplo concreto disso.

Uma das salas destinadas a instalação de racks de equipamentos no Gran Teatro Nacional de Lima, a sala que ficava ao lado da cabine FOH, foi construída com altura inferior ao que estava especificado. Quando levamos os racks para lá eles simplesmente eram mais altos do que o pé direito livre disponível. Como não era possível serrar um pedaço dos racks, nem havia mais tempo para encomendar outros, a saída foi pedir à construtora que subisse o forro acima do rack. O que foi feito. Mas o que era possível era aumentar poucos centímetros de forma que os racks praticamente encostassem no forro.

Como estavam previstas ventoinhas superiores, tive que substituir o teto do rack com as ventoinhas por um teto liso, sem nada, e remontar as ventoinhas nas portas traseiras.

Isso é uma das coisas que deve ser evitado em campo, pois consome um tempo enorme nem sempre disponível, além de poder impactar o visual.

Outrossim, o aspecto mais importante e que deve ser preservado a quaisquer custos é a eficiência térmica.

Foi o que fizemos nesse caso. Cuidados e muita dedicação acabam não comprometendo o visual nem o acabamento. O preço a pagar é a necessidade de muito mais trabalho do que se prevê inicialmente.

estratégia #11

A figura 6.101 mostra um rack com amplificadores de aspiração frontal montados nas partes mais baixas.

Em virtude dos amplificadores possuírem aspiração frontal e, de nesse caso haver ventoinhas de exaustão, é perfeitamente possível montar grelhas de ventilação entre os painéis frontais dos amplificadores.

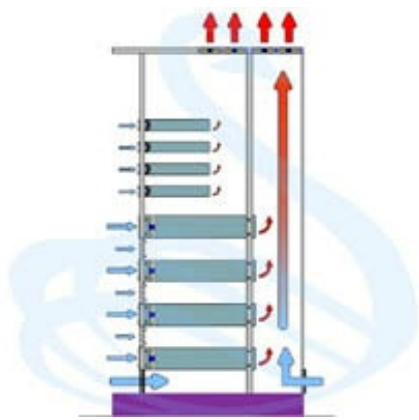


figura 6.101 caso geral de rack com amplificadores de aspiração frontal acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se os amplificadores não contarem com ventoinhas próprias não se pode mais montar essas grelhas de ventilação.

A entrada de ar é feita exclusivamente nas partes mais inferiores da porta traseira e da face frontal vertical do rack, como mostra a figura.

As ventoinhas de exaustão são montadas no tampo superior do rack.

Se comparamos essa figura com a figura 6.88 veremos que elas são muito semelhantes e, apesar disso, a montagem da figura 6.88 é problemática e a da figura 6.101 é recomendada.

Porque?

Simplesmente porque no caso da figura 6.90 não há ventoinhas no tampo superior ou nas partes superiores do rack e no caso da figura 6.101 há.

Essa simples diferença faz com que o ar frio que entra pelas grelhas instaladas entre os amplificadores da figura 6.101 seja “sugado” pela corrente ascendente.

Para entender isso pense numa simples coifa de cozinha.

Ela suga todo o ar que está em baixo dela, geralmente com o objetivo de remover a gordura impregnada no ar que é usualmente filtrada.

Olhando para uma coifa funcionando é possível ver que o ar e a fumaça provenientes do fogão, são mesmo “sugadas” pela coifa.

Esse mesmo mecanismo faz com que as ventoinhas de exaustão de montagens como a da figura 6.101 aspirem o ar frio que entra pelas grelhas frontais, impedindo que ocorra a recirculação, como ilustrado na figura 6.90.

estratégia #12

A estratégia #12 é uma variante da estratégia #11.

Quem olha as figuras 6.101 e 6.102 percebe logo que as diferenças entre os dois arranjos

são mínimas e estão centradas na realocação das ventoinhas de exaustão do tampo superior, como na figura 6.101, para as partes mais elevadas da porta traseira, como na figura 6.102.

Quando mostro essas duas figuras em palestras e cursos sou assediado por muita gente que entende que a variante é totalmente desnecessária.

Argumento que, na prática, e com muita frequência, ocorre que a altura da sala técnica dos equipamentos é tão reduzida que sobra muito pouco espaço entre os tampos superiores dos racks e a superfície do teto. O que, acabamos de ver, compromete muito o arrefecimento. A saída natural para isso é o arranjo da figura 6.102.

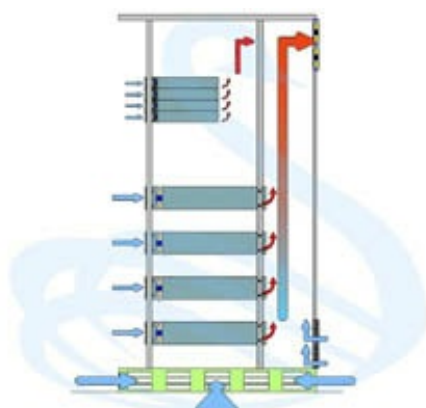


figura 6.102 arranjo da figura 33 com realocação das ventoinhas de exaustão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para não parecer que esse é um argumento genérico, gosto de apresentar exemplos concretos. E falo da experiência que tive no Gran Teatro Nacional, Lima, Peru, que relatei há pouco. Quando tenho oportunidade mostro a figura 6.103 para ilustrar a situação.



figura 6.103 dois racks de equipamentos cujos tampos superiores ficam praticamente encostados no forro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #13

Muitos sustentam que a redução na área de admissão de ar da figura 6.102 se justifica porque a capacidade de aspiração das ventoinhas posicionadas verticalmente cai ligeiramente.

Nessa mesma linha de argumentação se justifica a supressão dos painéis aletados frontais entre os amplificadores.

Embora alguns conceitos da física possam mesmo apoiar esses argumentos, creio que a opção não é das melhores. Especialmente porque a ventilação horizontal dos amplificadores

fica prejudicada.

Minha alternativa para os que advogam o arranjo da figura 6.103 é o que mostra a figura 6.104. Ou seja, são mantidos os painéis aletados frontais entre os amplificadores e mantida integralmente a área de admissão na parte inferior do rack.

As ventoinhas localizadas em posição vertical são mantidas e ampliadas ou então se amplia sua capacidade de vazão (CFM).

Isso foi o que chamei de estratégia #13.

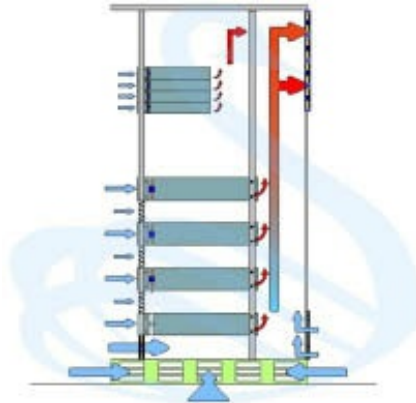


figura 6.104 arranjo da figura 6.102 com ampliação das ventoinhas de exaustão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #14

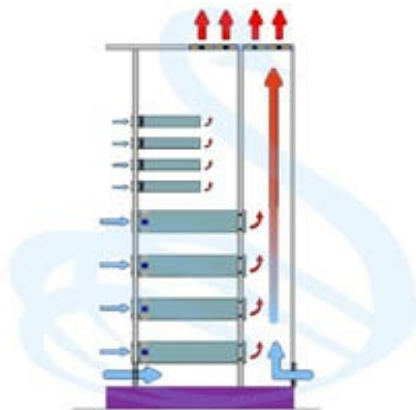


figura 6.105 arranjo da figura 6.101 sem os painéis aletados acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.105 exhibe um arranjo muito parecido com o da figura 6.101, com a omissão dos painéis frontais aletados entre os amplificadores.

Por essa razão este arranjo não é tão bom quanto aquele.

Contudo, se a capacidade de vazão (CFM) das ventoinhas superiores superar a soma das vazões de todos os equipamentos ainda ficam preservadas as condições adequadas de arrefecimento térmico do arranjo.

estratégia #15

Na figura 6.106 os amplificadores não são mais de aspiração frontal, mas sim de aspiração traseira.

É verdade que, do ponto de vista de arrefecimento térmico, essa classe de amplificadores representa um desafio para o projetista. Entretanto, observados alguns fundamentos básicos, os principais problemas que encontramos na prática podem ser evitados totalmente.

Então, vejamos.

Uma das principais correntes que se observa no dia a dia quando se trata de arrefecimento térmico com amplificadores de admissão traseira é o emprego de ventoinhas de insuflação localizadas no tampo superior do rack. Observe que neste caso também foram previstas aberturas para ventilação na parte superior da porta traseira.

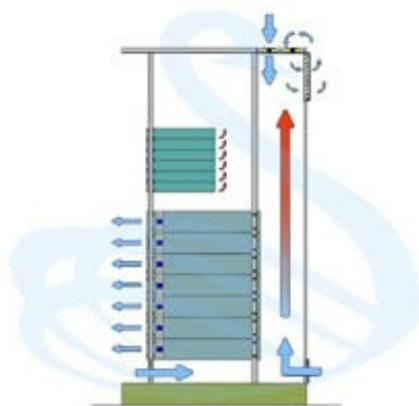


figura 6.106 rack com amplificadores de aspiração traseira, ventoinha de insuflação no tampo superior e aletas superiores na porta traseira acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como o ar frio injetado pelas ventoinhas é parcialmente confrontado com o ar quente que sobe, parte da corrente fria é “expulsa” para fora do rack através das aberturas existentes na porta traseira. Esse mesmo ar acaba sendo sugado por fora do rack pelas ventoinhas superiores, criando uma corrente que fica recirculando como mostra a parte superior direita da figura.

Com a redução drástica da capacidade de suprimento de ar frio pelas ventoinhas superiores, as correntes no interior do rack ficam desorganizadas e o arrefecimento dos amplificadores torna-se bem pobre.

Por isso, recomendo que tal arranjo jamais seja utilizado.

estratégia #16

Atenção para o lado esquerdo da figura 6.107.

Ela tenta reproduzir um arranjo proposto pela Middle Atlantic Products, Inc., em seu documento “Controlling the Temperature Inside Equipment Racks”, na parte inferior da página 13 do documento.

A Middle Atlantic considera esse arranjo apropriado como sistema de ar forçado.

Permito-me discordar da querida Middle Atlantic.

O motivo dessa discordância é que o ar frio insuflado por cima não é tão eficaz quanto seria um arranjo com o mesmo ar frio insuflado por baixo.

Como mostra o lado direito da mesma figura 6.107.

Essa é, portanto, minha proposta alternativa para o arranjo sugerido pela Middle Atlantic para casos de racks com amplificadores de aspiração traseira.

Em minha proposta as ventoinhas de insuflação são montadas na base do rack de equipamentos, com o suporte de filtros capazes de controlar em boa medida particuladas e agentes contaminantes.

Os amplificadores aspiram o ar frio de modo absolutamente natural, como bem mostra a figura. Ou seja, com o ar frio vindo de baixo e não de cima.

Além disso, os processadores instalados na parte mais elevada do rack podem usufruir de uma corrente de ar ascendente que em nenhum momento foi aquecido para arrefecer outros aparelhos.

A saída do ar ligeiramente aquecido se faz pelo tampo superior do rack, que para tanto é equipado com aberturas aletadas para possibilitar a convecção natural de ar.

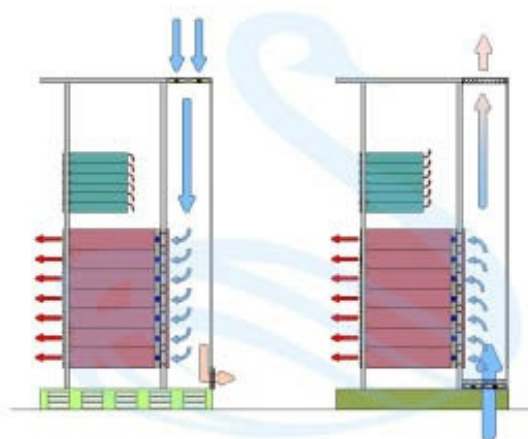


figura 6.107 arranjo sugerido pela Middle Atlantic à esquerda e minha proposta alternativa, à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #17

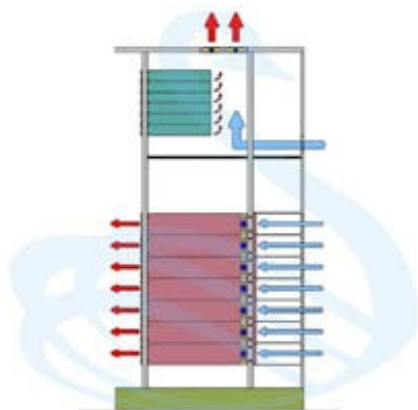


figura 6.108 alternativa que o autor apresenta para racks com amplificadores de aspiração traseira acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como disse antes, o arrefecimento de racks contendo amplificadores de aspiração traseira exige uma certa atenção do projetista.

Por isso mesmo submeto à sua apreciação uma segunda proposta alternativa para o arranjo do lado esquerdo da figura 6.107. Ele está na figura 6.108.

Neste caso, devem ser instaladas bandejas metálicas na parte traseira dos amplificadores, de forma a estender os túneis de aspiração de cada amplificador.

Para que o ar frio possa ser aspirado pelos amplificadores sem nenhuma dificuldade a porta traseira do rack deve ter aberturas para a passagem do ar sem restrições. Caso os amplificadores não disponham de filtros em suas admissões, recomendo que eles sejam instalados no interior do rack imediatamente após cada abertura de ar da porta traseira.

Recomendo que o rack tenha uma bandeja integral acima dos amplificadores, separando o interior do rack em dois espaços. O dos amplificadores, abaixo e o dos processadores acima.

O arrefecimento dos processadores se faz como se a parte superior do rack fosse um rack em si.

Ou seja, a admissão é feita pela porta traseira que, para tanto tem aberturas para a entrada de ar frio, porquanto ventoinhas de exaustão são montadas no tampo superior do rack.

Já usei tal arranjo muitas vezes na prática e posso recomendá-lo como um dos mais eficazes que tive oportunidade de testemunhar.

estratégia #18

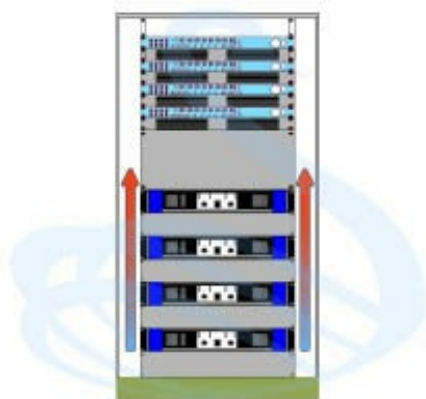


figura 6.109 vista de rack frontal com correntes laterais de arrefecimento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Agora você sabe que alguns amplificadores possuem dissipadores de calor dispostos lateralmente. Quando esse é o caso, torna-se medida de eficiência discutível prover ar fresco insuflado pela parte traseira inferior do rack. Melhor é insuflar o ar pelas laterais da base do rack para que as correntes de convecção tenham direção realmente controlada.

Nesses casos, a possível melhor alternativa é localizar as ventoinhas de exaustão no tampo superior do rack, instaladas bem próximas das laterais ou, alternativamente, usar complementos como os da figura 6.96, mas sem as ventoinhas centrais. Isso mesmo, apenas as laterais. Como a admissão de ar é feita na base do rack, pelas partes laterais, tudo isso cria as condições ideais para que as correntes de convecção caminhem pelas laterais com muita eficiência.

6.8.7.3 O Método Ativo da Pressurização Como este é outro método ativo convencional, as ventoinhas ainda são empregadas. Só que ao invés de ter funções de exaurir o ar do interior dos racks, sua função é insuflar ar do exterior para dentro do rack.

Uma das vantagens intrínsecas deste processo é que com ar mecanicamente forçado para o interior dos racks, formam-se zonas de pressão positiva que tendem a imunizar esse espaço do acesso indevido de poeira, particulados em suspensão no ar em geral, poluentes associados com a atividade humana os quais comentamos anteriormente, biocontaminantes, fumaça de cigarro, *etc.*

Por isso mesmo o uso de filtros imediatamente após as ventoinhas de insuflação ainda torna esse lado da questão um ponto fortíssimo do método ativo de pressurização.

estratégia #19

Este método ativo é considerado por muitos especialistas como uma das técnicas mais adequadas para ambientes sujos e com considerável quantidade de particulados em suspensão no ar, inclusive ambientes industriais.

Essa quase unanimidade deve-se às propriedades intrínsecas da estratégia.

Comenta-se que essa vantagem é relativamente moderada quando os racks são totalmente hermetizados.

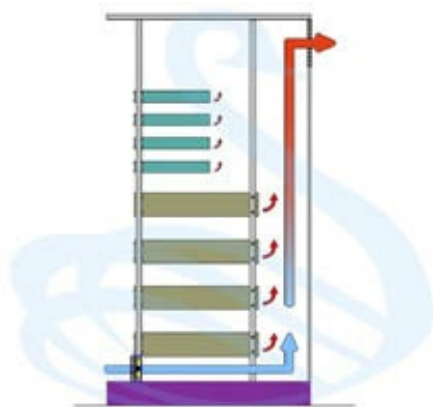


figura 6.110 rack com equipamentos, ventoinha de insuflação colocada em painel imediatamente abaixo do painel frontal do amplificador inferior, e grelhas para a passagem de ar colocadas na parte superior da porta traseira acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na teoria esse argumento se sustenta por haver “desperdício” da pressão positiva criada. Entretanto, na prática as hermetizações dos racks costumam ser muito deficientes.

É precisamente essa condição que se verifica na prática o que acentua bastante a vantagem dessa estratégia.

A possibilidade de inclusão dos filtros antes ou depois das ventoinhas é não só uma certeza, mas algo muito simples, que se faz sem quaisquer dificuldades.

A contrapartida da estratégia é a capacidade térmica com eficiência ligeiramente abaixo do que ocorre com os métodos ativos de exaustão.

Nada que não se possa compensar em projeto.

estratégia #20

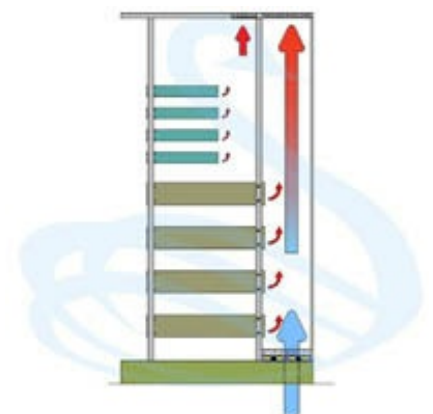


figura 6.111 rack com equipamentos, ventoinha de insuflação e grelhas para saída do ar aquecido instalados em linha vertical acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra maneira de recuperar a queda de eficiência da estratégia #19 é organizar as ventoinhas de insuflação na superfície horizontal da base do rack e as grelhas de saída de ar aquecido no tampo superior do rack, de forma que todo o

conjunto constitua uma coluna de ar, que será o trajeto principal da corrente de natural de convecção, seguindo trajeto vertical.

Tudo como na figura 6.111.

Observe que os filtros podem ser inseridos antes ou depois das ventoinhas de insuflação. Recomendo a primeira alternativa, porque esta ajuda a manter as ventoinhas mais limpas.

Como estamos falando muito de filtros, não se deve esquecer que sua troca periódica é essencial para a preservação do processo de arrefecimento térmico e, em última análise, da vida útil dos equipamentos no interior do rack.

estratégia #21

A figura 6.112 mostra um arranjo de rack bastante semelhante ao da figura 6.111.

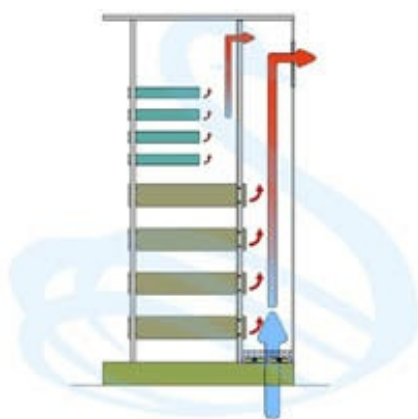


figura 6.112 rack como na figura 6.111, sendo que a grelha do tampo superior do rack foi transferida para as partes mais elevadas da porta traseira acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Entretanto, as grelhas de passagem de ar quente para o exterior do rack, antes montadas no tampo superior do rack, foram transferidas para as partes mais elevadas da porta traseira do rack.

Depois de tudo o que já vimos sobre gerência térmica, creio que todos os leitores sacarão de imediato que essa estratégia tem a função de oferecer uma saída técnica clássica para aquela condição, relativamente comum, na qual a distância entre a parte superior do rack e o forro acabado é muito exígua e impede a circulação adequada do fluxo de ar quente, comprometendo em maior ou menor grau o arrefecimento térmico.

Acertei?

Também presumo que a maioria dos leitores entenderá que essa estratégia é pouco menos eficiente que a anterior. O que, por isso mesmo, tal fato deve ser previsto e compensado devidamente na etapa de projeto.

estratégia #22

O rack da figura 6.113 está de frente para que você, caro leitor, possa visualizar as duas correntes de convecção colunares que se desenvolvem nas duas laterais.

Evidentemente, essa estratégia só é aplicável a racks com amplificadores munidos de dissipadores de calor colocados em suas duas laterais.

Então, toda a conceituação que vimos anteriormente para os casos desses amplificadores em métodos ativos de exaustão são aplicáveis a estes casos.



figura 6.113 rack com ventoinhas de insuflação colocadas nas partes horizontais laterais da base com grelhas de saída de ar colocadas nas laterais do topo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

6.8.7.4 O Método Ativo da Exaustão + pressurização Este método é, na realidade, a combinação dos dois métodos anteriores. Isto é, são utilizadas simultaneamente ventoinhas de insuflação e de exaustão. As primeiras para injetar ar frio externo no interior do rack e as últimas para remover o ar aquecido para a sala.

Considero que nestas alturas é fundamental entender o que ocorre quando as ventoinhas trabalham juntas. Então, atenção para a figura 6.114.

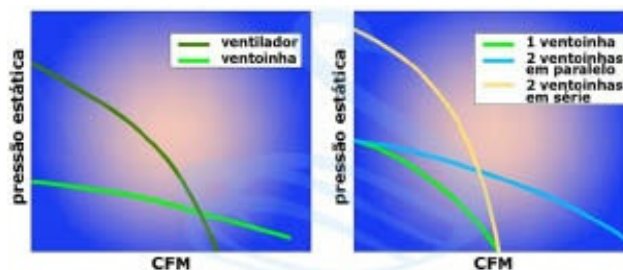


figura 6.114 curvas de performance de ventilador e de ventoinha à esquerda, e curvas de performance de ventoinhas operando em paralelo e em série acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

No lado esquerdo as curvas de desempenho típicas de um ventilador e de uma ventoinha. No lado direito o que ocorre com uma só ventoinha, na cor verde, com duas ventoinhas trabalhando em paralelo, na cor azul, lembrando que essas ventoinhas podem ser ambas de insuflação ou ambas de exaustão.

Finalmente, na cor castanha, a curva de desempenho de duas ventoinhas trabalhando em série, como são todos os casos do método ativo de exaustão mais pressurização.

Entendido esse conceito fica relativamente fácil fazer os cálculos para quaisquer quantidades de ventoinhas, trabalhando em série, em paralelo ou numa combinação dessas duas coisas.

estratégia #23

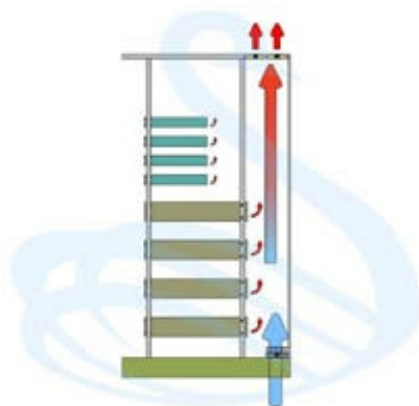


figura 6.115 o mais simples dos arranjos do método ativo híbrido da exaustão mais pressurização acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

A figura 6.115 mostra o caso mais simples e comum utilizado

por projetistas quando o arrefecimento escolhido é o método ativo híbrido da exaustão mais pressurização.

Note que a insuflação é feita exclusivamente pelo tampo da base do rack, sem que haja qualquer entrada de ar pela própria base ou por aberturas de acesso nas partes inferiores da porta traseira.

Por outro lado, as ventoinhas de exaustão são montadas no tampo superior do rack acima das ventoinhas de exaustão. Isso cria um fluxo vertical de baixo para cima, com o ar frio do ambiente sendo injetado no interior do rack e o ar quente sendo expelido pela parte superior. Como esse fluxo está em total consonância com o fluxo natural de convecção, a eficiência é muito elevada.

O ar quente produzido pela parte traseira de todos os equipamentos é integrado ao fluxo ascendente de ar de modo muito fácil já que a diferença de pressão dinâmica favorece muito essa condição. Por essa razão é recomendável que a capacidade de fluxo das ventoinhas de exaustão seja superior à das ventoinhas de insuflação. Algo entre 20% e 50%.

Essa medida ajudará bastante a manter baixa a temperatura no interior do rack, desde que ambas sejam compatíveis com o calor gerado pelos equipamentos.

estratégia #24

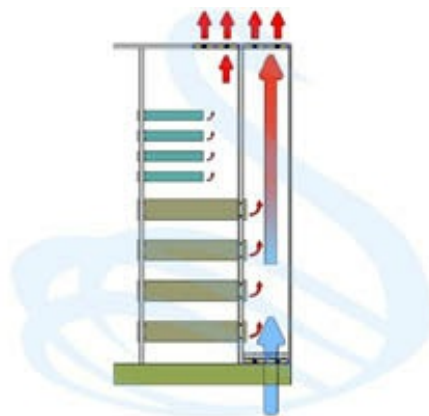


figura 6.116 o arranjo da figura 6.115 com reforço de ventoinhas de insuflação e de exaustão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O arranjo da figura 6.116 é muito útil quando o calor gerado pelos processadores, instalados acima dos amplificadores, é de certa monta.

Com efeito, as ventoinhas de exaustão montadas mais no alinhamento vertical acima das partes posteriores dos processadores, facilita muito a remoção desse calor adicional.

Pessoalmente, considero que a estratégia #24 é um misto de método ativo de exaustão mais pressurização, aplicável apenas aos amplificadores, e de método ativo de exaustão aplicável, aplicável apenas aos processadores. É claro que há uma interação entre os fluxos de ar dessas duas técnicas, o que absolutamente não compromete a eficiência do arranjo.

estratégia #25

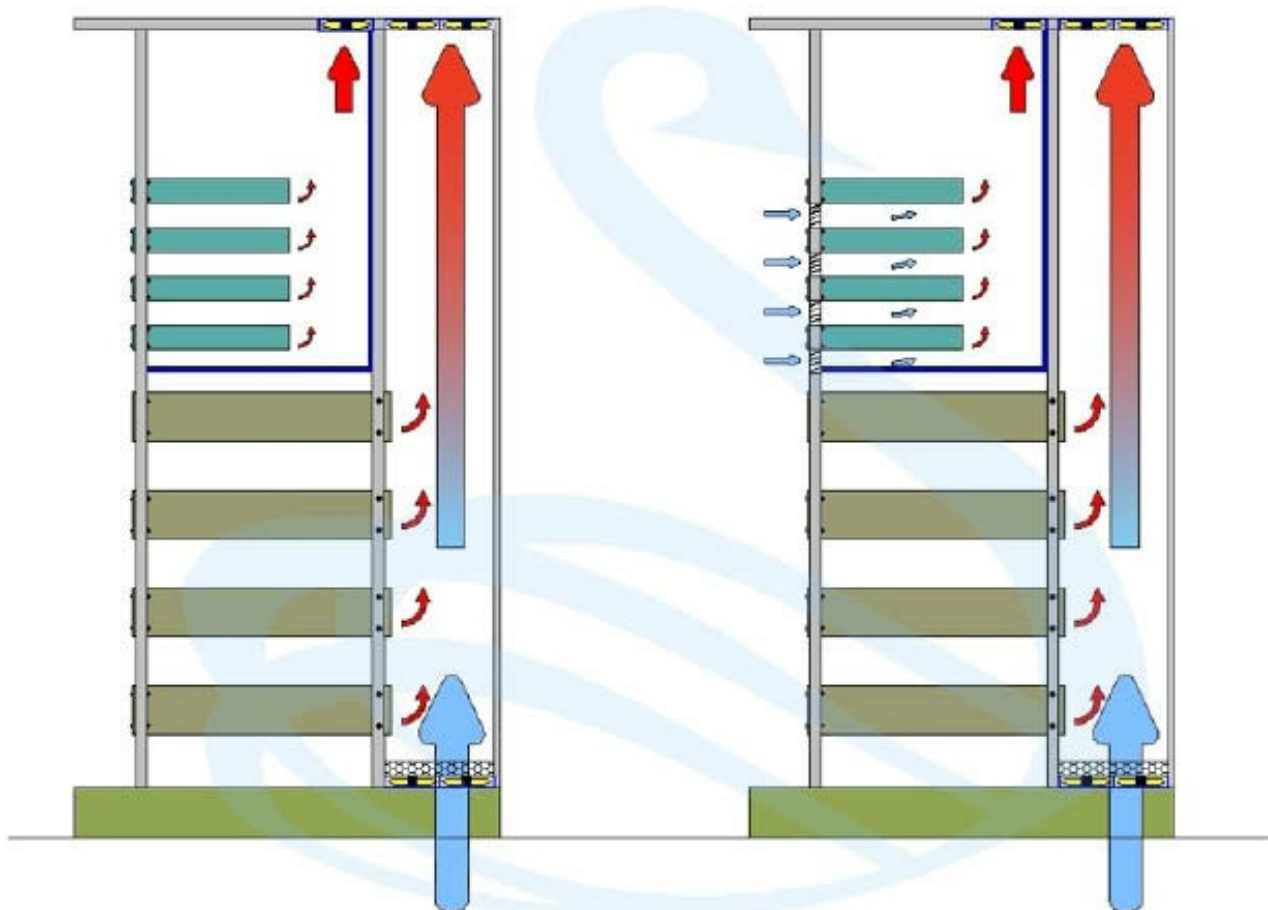


figura 6.117 arranjo da figura 6.116 com compartimentalização do rack acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja na figura 6.117 que foi instalado um separador físico, na figura representado pelo “L” de cor azul, tipicamente feito de chapa metálica.

Dessa maneira forma-se um compartimento exclusivo para os processadores de sinal, na parte superior do rack e, outro compartimento exclusivo, agora para os amplificadores na parte inferior do rack.

Portanto, na estratégia #25 o misto de método ativo de exaustão mais pressurização e o método ativo de exaustão ainda coexistem, mas eles são fisicamente separados em partes distintas.

Com isso, os amplificadores são arrefecidos pelo método ativo de exaustão mais pressurização. Já os processadores são arrefecidos apenas pelo método ativo de exaustão.

No arranjo do lado esquerdo da figura os processadores ficam separados por uma altura de guarda. Entretanto, não há abertura para entrada de ar na face frontal do rack entre os painéis dos processadores. A corrente de convecção é acionada apenas pelas ventoinhas de exaustão que ficam acima do compartimento exclusivo dos processadores.

O que é suficiente para casos típicos.

Outrossim, quando os processadores produzem grandes quantidades de calor, é recomendável introduzir aberturas para o acesso de ar fresco do exterior entre os painéis frontais dos processadores. Como mostra o arranjo do lado direito da figura.

Quando os amplificadores não possuem aspiração frontal nem traseira, como os da figura, é possível omitir as aberturas de acesso de ar fresco do exterior, que ficariam localizadas entre

os painéis frontais desses mesmos amplificadores. Por outro lado, também é possível aplicar essas aberturas. Mas apenas se os amplificadores não são dotados de aspiração frontal ou traseira.

Quando os amplificadores possuem aspiração frontal as entradas frontais mencionadas não podem ser introduzidas.

estratégia #26

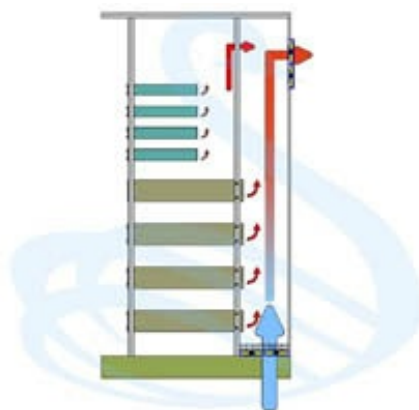


figura 6.118 método ativo da exaustão mais pressurização para pés direitos reduzidos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #26 é o arranjo do método ativo de exaustão mais pressurização adequado para salas com pé direito muito reduzido. A figura 6.118 representa esse arranjo.

Como em outros arranjos semelhantes, a eficiência deste é ligeiramente inferior à dos arranjos vistos anteriormente para esse mesmo método.

Por essa razão é recomendável que as ventoinhas de exaustão tenham CFM superior à das ventoinhas de insuflação. Algo da ordem de 50% a mais.

Vale notar que este arranjo específico, bem como todos os demais deste método, podem se valer das grandes vantagens que os filtros antes das ventoinhas de insuflação proporcionam.

Como vimos antes, isso ajuda muito a prolongar a qualidade do arrefecimento a médio e longo prazos, sendo o único preço a pagar por isso os cuidados usuais de manutenção. Mais especificamente a substituição regular e periódica dos filtros.

estratégia #27

A estratégia #27 é aquela representada pelo arranjo da figura 6.119.

As ventoinhas de insuflação que eram montadas horizontalmente no tampo da base do rack migraram para as partes inferiores da face frontal do rack, imediatamente abaixo do amplificador mais baixo.

Esse método é uma alternativa própria para casos nos quais o espaço interno da base inferior do rack fica muito congestionada com cabos e/ou outros acessórios.

Com efeito, quando isso ocorre a insuflação de ar pelas ventoinhas horizontais costuma ficar consideravelmente prejudicada. Porque os acessos ficam bloqueados em maior ou menor grau.

Entretanto, para que a pressurização funcione bem a base não deve ter aberturas laterais,

frontais nem traseiras para a entrada de ar. Ao contrário, o ideal é que haja hermetização integral de forma que todo o acesso de ar fique restrito apenas às ventoinhas de insuflação.

Por sinal, a hermetização também se aplica às portas traseira e frontal, com a mesma exceção que discutimos para o caso do lado direito da figura 6.117.

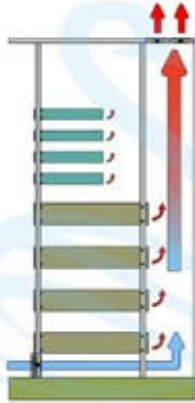


figura 6.119 método ativo da exaustão mais pressurização com ventoinhas de insuflação frontais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #28

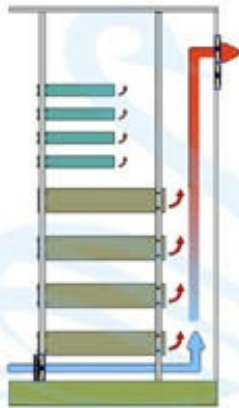


figura 6.120 método ativo da exaustão mais pressurização com ventoinhas de insuflação frontais e ventoinhas de exaustão montadas nas partes elevadas da porta traseira acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #28 é, mais uma vez, uma alternativa imaginada para se ajustar melhor a espaços com pés direitos acanhados. No caso, uma alternativa para o arranjo da estratégia #27.

Para tanto, as ventoinhas de exaustão não são mais montadas no tampo superior do rack mas sim nas partes mais altas da porta traseira.

Fundamental manter toda a hermetização na base e portas do rack de modo a manter a integridade da corrente de convecção.

Como a hermetização praticamente assegura que todo o ar tenha acesso apenas pelas ventoinhas de insuflação, isso facilita muito a colocação de filtros antes de todas essas ventoinhas de modo a assegurar que particulados e agentes poluentes não tenham acesso ao interior do rack.

Como em outros casos de uso de filtros, a eficácia da estratégia e, por isso mesmo, a longevidade da vida útil dos equipamentos, depende de que os filtros sejam periodicamente substituídos, especialmente em ambientes mais agressivos que o usual.

A figura 6.120 esquematiza o arranjo elementar da estratégia #28.

Uso o termo “elementar” porque, como você pode perceber, há variações possíveis. A

exemplo de diferentes quantidades de equipamentos. Em sistemas de maior porte, uma das possíveis variantes desta estratégia é alocar todos os amplificadores num rack dedicado e os processadores em outro.

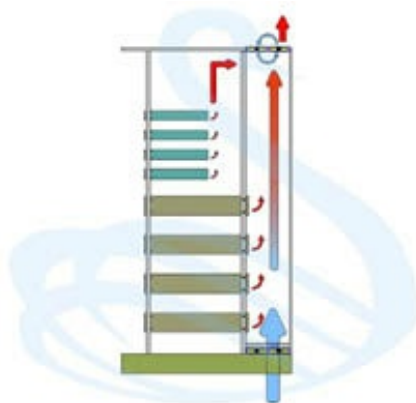


figura 6.121 problema de recirculação que pode ocorrer quando uma ventoinha deixa de funcionar
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vimos anteriormente que soluções multiventoinhas exigem monitoração contínua da operação adequada de cada uma das ventoinhas. Fiz questão de mencionar que muitos técnicos imaginam que usar muitas ventoinhas é uma espécie de segurança, no sentido de que se uma delas falhar as restantes podem cumprir a tarefa, ainda que com ligeira redução de eficiência.

Vimos também que não é isso o que ocorre.

A figura 6.121 exhibe, mais uma vez, que quando uma ventoinha deixa de funcionar acaba se estabelecendo o caminho fácil para o curto-circuito térmico.

Portanto, não se trata apenas de perder o concurso e a ajuda da ventoinha defeituosa, mas sim o de uma redução da eficiência das demais ventoinhas, especialmente das que estão mais próximas da que parou de funcionar. Com chances de comprometer a refrigeração de todo o rack.

Ilustrei o problema desse mecanismo de curto-circuito fazendo alusão ao que é produzido por uma grelha de ventilação instalada muito próxima de uma ventoinha. Citei a figura 6.106 para mostrar graficamente a natureza do mecanismo.

Se você voltar para a discussão da estratégia #8 verá algumas técnicas de monitoração das ventoinhas das quais falamos, inclusive as remotas.

6.8.7.5 O Método de Arrefecimento Assistido por Trocador de Calor Antes de entrar nos detalhes deste método, gostaria de abordar sucintamente os próprios trocadores de calor. Com certeza isso dará a você uma visão muito mais panorâmica não só do método de arrefecimento assistido por troca de calor, mas de todas as formas de arrefecimento térmico.

Os trocadores de calor são dispositivos construídos para fazer a troca de calor entre dois ou mais fluidos. Geralmente os fluidos devem estar fisicamente separados para que não se misturem ou façam contato direto.

As aplicações mais comuns dos trocadores de calor são na refrigeração e no aquecimento

de espaços em geral, nos sistemas de ar condicionado, nas estações geradoras de energia, na indústria, no segmento petroquímico e nas refinarias de petróleo, nas usinas de processamento de gás natural, nas estações de reciclagem de lixo e em tantas outras.

O que nos interessa agora é a refrigeração de espaços. Mais especificamente, a refrigeração de racks.

Creio que um exemplo bem contundente de trocador de calor é o radiador automotivo, empregado nos motores a combustão refrigerados a água.

O bloco do motor se aquece muito durante sua operação normal. Para retirar esse calor do bloco, permite-se que água fria circule por cavidades feitas no bloco com esse propósito.

Ao passar pelos interstícios do bloco a água realmente retira calor do motor. Mas, em contrapartida, torna-se muito aquecida. É aqui que entra o radiador. Sua função é resfriar a água quente que retirou o calor do motor.

Para tanto, a água quente é forçada pela bomba d'água a entrar na colmeia do radiador. Esta é um conjunto de tubos metálicos envolvidos por aletas de refrigeração, usualmente de alumínio.

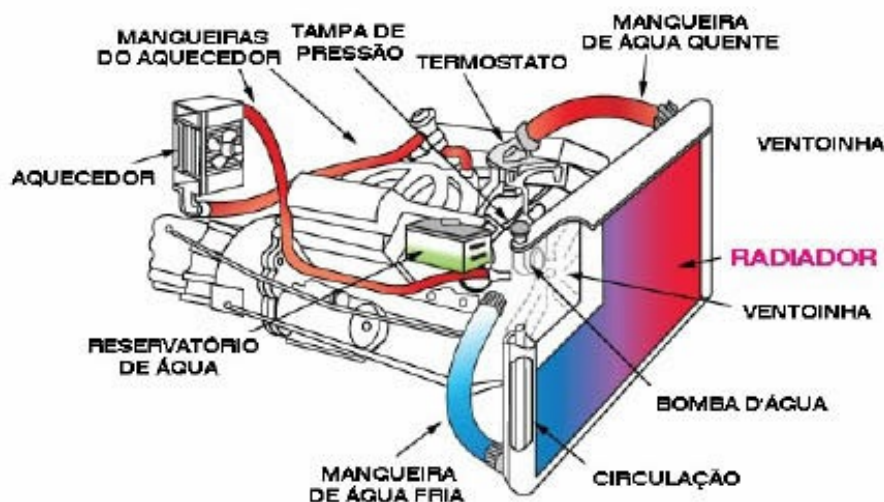


figura 6.122 sistema de arrefecimento de motor a combustão, com ênfase para o radiador acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ao sair do radiador pela mangueira de água fria a água já está com temperatura muito inferior à de quando entrou pela mangueira de água quente. Esse é a trabalho do radiador.

Localize na figura 6.122 o aquecedor. Este é um pequeno radiador auxiliar que se vale da água quente que deixa o bloco do motor para produzir ar quente para o veículo.

Essa é a forma usual de produção de ar quente em praticamente todos os veículos automotores.

Os trocadores de calor podem ser construídos de acordo com inúmeras técnicas, entre as quais estão a do tubo e a carcaça, a de placa, a da roda adiabática, a da placa aletada, a da placa almofadada, a dos fluidos, a do recuperador de calor perdido, a de superfície dinâmica, a de contato direto, a de micro canais, a dos elementos tubulares, a das placas intercambiáveis, a de compressão de vapor, a de ciclo de ar, a dos recursos absorptivos, a dos recursos

evaporativos, a de jato de vapor, a de ciclo termoelétrico, a que está baseada no efeito Peltier, a de pistas Sterling, a termoacústica, a de tubo vértex, a de meios magnéticos, a de meios termoelásticos, a de implementação passiva, a de fluxo cruzado e tantas outras.

É bem provável que as de fluxo cruzado sejam as mais adequadas para uso como elementos de arrefecimento de racks de equipamentos. Com efeito, estes são trocadores de calor muito eficientes e compactos. Veja um desses na figura 6.123.

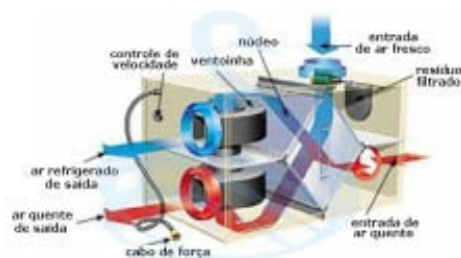


figura 6.123 trocador de calor tipo fluxo cruzado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja que há uma entrada para o ar aquecido e outra entrada para o ar fresco. Quando às saídas, há uma de ar frio e outra de ar quente.

A saída de ar frio tem origem na entrada de ar quente que, evidentemente, é resfriado no processo. Simultaneamente, a saída de ar quente tem origem na entrada de ar frio que, claro, é aquecido no processo.

O que ocorre realmente é que o ar frio e o quente que entram no dispositivo trocam calor entre si. Você já sabe que a transferência de calor ocorre sempre do mais quente para o mais frio.

Portanto, o ar quente que entra transfere calor para o ar frio que entra. Como resultado, o ar quente que entra acaba sendo resfriado e o ar frio que entra acaba sendo aquecido. Mecanismo esse que dá o nome ao dispositivo.

Esse é o trabalho do trocador de calor, que ocorre no núcleo do componente.

Muito bem. A pergunta que fica é: e como podemos aplicar esse conceito e o próprio trocador de calor num rack de equipamentos?

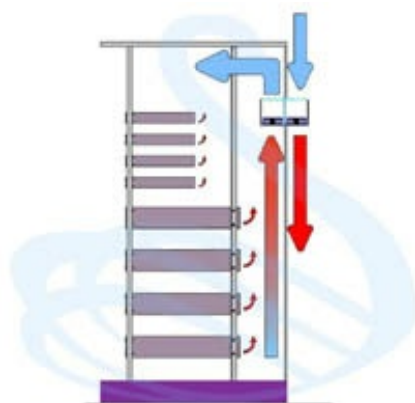


figura 6.124 rack equipado com trocador de calor do tipo fluxo cruzado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.124 mostra como isso pode ser implementado na prática.

Observe bem o trocador de calor instalado na porta traseira do rack.

Veja que o dispositivo foi instalado de tal modo que a entrada de ar quente e a saída de ar

frio estão ambas no interior do rack.

Essa é a condição essencial para que o trocador de calor opere.

Com isso, o ar quente que sobe é naturalmente encaminhado para a entrada de ar quente do trocador de calor, já que sua ventoinha interna é de exaustão.

Entretanto, o ar “sugado” não é encaminhado para a sala mas sim para o núcleo do trocador de calor, de onde sai com temperatura muito reduzida pela saída de ar frio, a qual também está no interior do rack.

Portanto, o trocador de calor recolhe o ar quente do interior do rack e o devolve para o mesmo lugar com temperatura bem inferior à do ar quente de entrada. Dessa forma o arrefecimento térmico do rack pode ser conseguido integral ou parcialmente.

O calor retirado do rack é encaminhado para o exterior, já que o ar frio retirado da sala para ela é devolvido, apenas que temperatura mais elevada.

Veja na figura 6.125 que a tubulação atrelada à saída de ar frio do trocador de calor possibilita que o ar frio seja insuflado pelas partes mais baixas do rack, facilitando muito as correntes naturais de convecção.

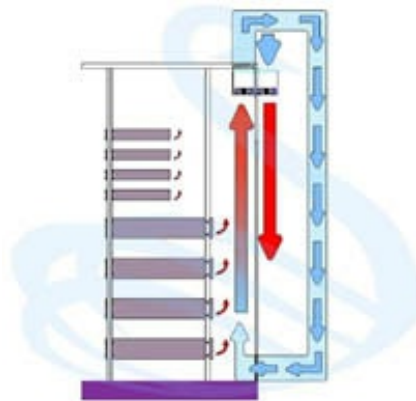


figura 6.125 rack da figura 6.124 assistido por tubulação para dirigir o ar frio para as partes baixas do rack acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 6.8.7.6 O Método de Arrefecimento Assistido por Condicionamento de Ar por Fornecimento Objetivo para Um Único Rack de Equipamentos



figura 6.126 esquema de climatização de sala por típico sistema de condicionamento de ar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O termo “Fornecimento Objetivo” tem o sentido de informar que o ar condicionado é insuflado na sala por meios convencionais e, simultaneamente, o ar aquecido é retirado por uma ou mais grelhas de retorno. Então, o ar de retorno pode ser parcialmente descartado e, depois, misturado em dadas proporções com ar externo para novo ciclo de refrigeração e desumidificação.

A figura 6.126 esquematiza como um sistema típico de condicionamento de ar é utilizado

para climatizar uma sala por Fornecimento Objetivo.

Vimos antes que o ar quente removido dos aparelhos é transferido para o interior dos racks de equipamentos. E que o ar aquecido no interior dos racks deve ser transferido para a sala. O que provoca o aquecimento do ar na sala, tanto mais quanto mais calor os aparelhos produzem.

Por essa razão o ideal é que o ar da sala seja mantido em temperatura constante e suficientemente baixa. O que pode ser facilmente conseguido com o concurso de um sistema de condicionamento de ar, como o da figura 6.126. Ou qualquer outro, adequado para a situação em questão.

É com base nisso que foram desenvolvidas muitas estratégias. Em sua grande maioria são as estratégias passivas e ativas incrementadas com o uso de condicionamento de ar para reduzir a temperatura do ar na sala.

Os desenhos a seguir apresentam apenas esquemas que simbolizam a utilização dos sistemas de condicionamento de ar. Entretanto, de caso para caso o projetista poderá sugerir que as grelhas de insuflação e de retorno do próprio sistema de ar condicionado sejam localizadas de modo a favorecer a redução de temperatura no interior dos racks de equipamento. O que tende a ocorrer quando a sucção de ar pelos racks se dá logo após ele ter deixado a grelha de insuflação do sistema de condicionamento de ar e, também, que a grelha de retorno do sistema de condicionamento de ar fique bem próxima das grelhas de exaustão dos racks de equipamentos. Dessa forma, o ar quente exaurido do rack tem poucas chances de aquecer o ar mais frio da sala.

Bem, vejamos algumas dessas estratégias.

estratégia #29

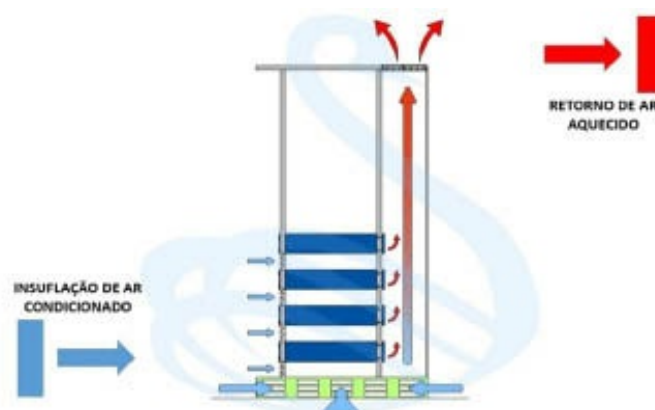


figura 6.127 montagem da estratégia #1 com o concurso de sistema de condicionamento de ar na sala acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essa era a estratégia #1. Que agora ganhou a ajuda do sistema de condicionamento de ar.

Note que a grelha de insuflação foi projetada na parte baixa da sala, de modo a beneficiar a sucção de ar frio pela parte frontal inferior do rack. A grelha de retorno do sistema de condicionamento de ar poderia facilmente ter sido especificada no teto da sala, bem acima da grelha de exaustão do rack.

estratégia #30

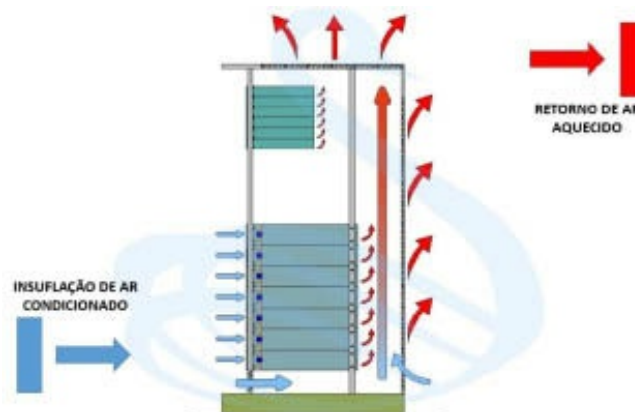


figura 6.128 montagem da estratégia #2 com o concurso de sistema de condicionamento de ar na sala acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne E essa era a estratégia #2. Como no caso anterior, aqui também há o concurso valioso do sistema de condicionamento de ar.

A grelha de insuflação do sistema de ar condicionado ainda é projetada para ficar na parte baixa da sala, porquanto a grelha de retorno do sistema de condicionamento de ar, que está numa parte alta da sala, também pode ser localizada no teto. De preferência acima da grelha de exaustão do rack.

estratégia #31

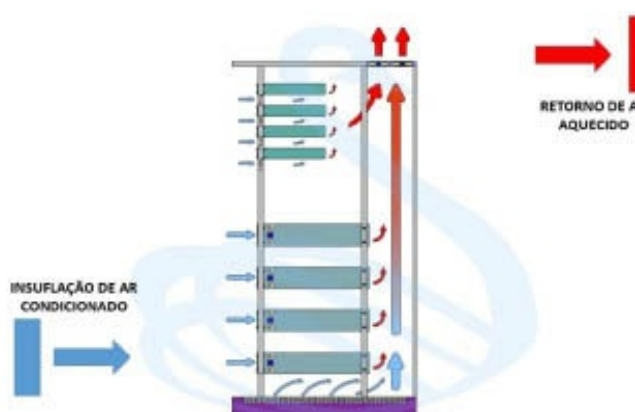


figura 6.129 montagem da estratégia #4 agora ajudada por sistema de condicionamento de ar na sala acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #31 provém da estratégia #4, a primeira do método ativo de exaustão.

Como nas estratégias #29 e #30, a grelha de insuflação do sistema de ar condicionado fica na parte baixa da sala porquanto a grelha de retorno do sistema de ar condicionado pode ficar numa parte elevada da sala ou no teto, próxima das ventoinhas de exaustão do rack de equipamentos.

estratégia #32

A estratégia #32 é a estratégia #5, agora assistida pelo sistema de condicionamento de ar. Portanto, tudo o que falamos ao discutir a própria estratégia #5 continua valendo aqui. O mesmo se dando nos casos acima para as respectivas estratégias de origem.

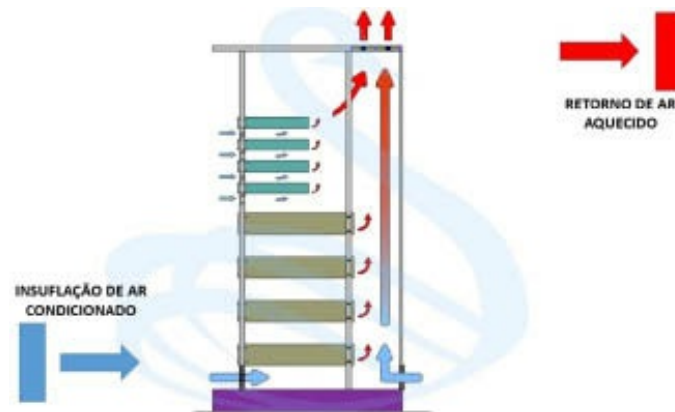


figura 6.130 montagem da estratégia #5 assistida por sistema de condicionamento de ar na sala acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Neste caso específico, uma vez que os amplificadores são dissipativos e não contam com ventoinhas frontais de admissão de ar frontal, torna-se imperativo que a grelha de insuflação do sistema de ar condicionado fique numa parte baixa da sala e, tanto quanto possível, o mais próximo da parte frontal do rack que as condições permitam.

estratégia #33

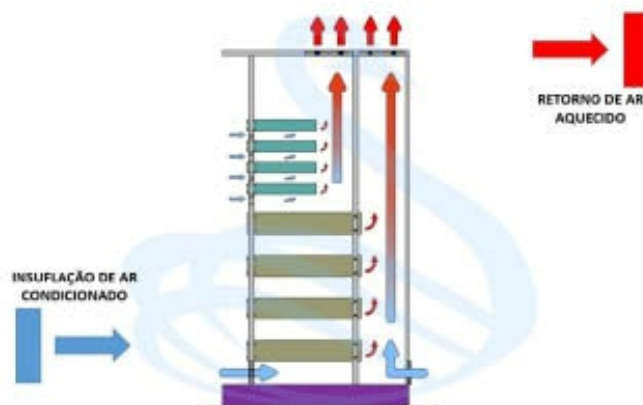


figura 6.131 montagem da estratégia #6 com ar da sala beneficiado por sistema de condicionamento de ar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia de origem é a #6. Aplicável a elevadas quantidades de calor produzidas no interior dos racks. Então, agora o que aumenta de importância é a localização da grelha de retorno do sistema de ar condicionado. Idealmente ela fica no teto bem acima das ventoinhas de exaustão do rack.

estratégia #34

A estratégia #34 tem origem na estratégia #9 que, como você lembra, foi recomendada especialmente para salas com temperaturas elevadas, usualmente 28°C ou mais.

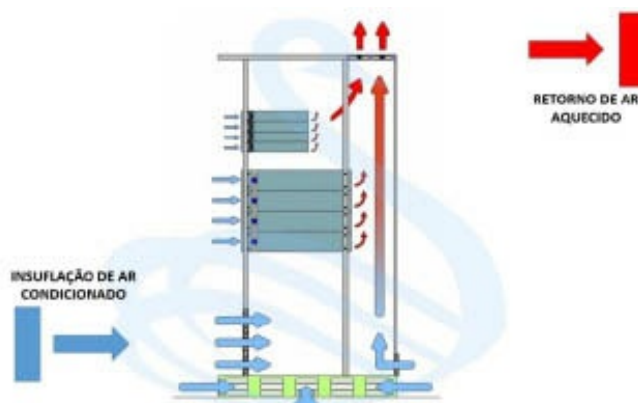


figura 6.132 montagem da estratégia #9 com sistema de condicionamento de ar na sala acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outro pré requisito da estratégia #9 era que os amplificadores contidos no rack fossem de aspiração frontal. Também havia uma certa restrição quanto aos acessos de ar, que continuam aqui. Chegamos inclusive a sugerir o uso de painéis cegos ou elementos adesivos para bloquear as entradas de ar irregulares.

Considerando o perigo representado pela elevação do centro de gravidade provocado pela montagem de amplificadores nas partes mais altas dos racks, friso que a estratégia #34 não é recomendada para caso de racks móveis, mas apenas e tão somente para racks devidamente ancorados no piso.

estratégia #35

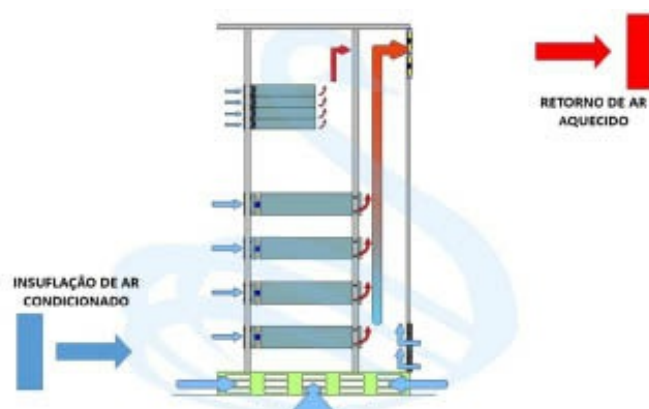


figura 6.133 montagem da estratégia #10 assistida por sistema de condicionamento de ar na sala acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #35 é filha da estratégia #10. Que, a rigor, já era uma variação da estratégia #9.

As diferenças entre as estratégias #10 e #9, bem como entre as estratégias #35 e #34 é que a exaustão de ar passa a ser feita pela parte traseira do rack ao invés da parte superior.

Com certeza você lembrará que as alternativas das estratégias #10 e #35 são uma saída honrosa para salas com pé direito reduzido.

Cheguei a mencionar um exemplo real de instalação que fizemos em Lima, Peru, no Gran Teatro Nacional de Lima. Nesse caso específico tive que mover as ventoinhas superiores para as portas traseiras dos racks. Tudo me nome da eficiência térmica.

Nesse caso, e em todos os que forem semelhantes a este do ponto de vista de geometria da sala, o ideal é manter as grelhas de retorno do sistema de condicionamento de ar como sugere a figura 6.133. Ou seja, alinhadas com as ventoinhas de exaustão dos racks. Ou ligeiramente acima delas, já que é de se esperar que o ar quente que deixa o rack adquira um certo movimento ascendente.

estratégia #36

A figura 6.134 esquematiza a estratégia #36. Por sinal, descendente direta da estratégia #11.

Note que os amplificadores de aspiração frontal são montados nas partes mais baixas do rack. Vimos que nesse caso específico era vantajoso montar grelhas de ventilação entre os painéis frontais dos amplificadores. Entretanto, se os amplificadores não possuem ventoinhas próprias já não é mais possível montar as grelhas de ventilação entre os painéis frontais dos mesmos.

Note que as ventoinhas de exaustão são montadas no tampo superior do rack.

Uma das coisas muito importantes que discutimos antes é que montagens com a da figura 6.134 impedem a ocorrência da recirculação da circulação de ar, a exemplo daquela ilustrada na figura 6.90.

Como em outras montagens nas quais as ventoinhas de exaustão ficam localizadas no tampo superior do rack, as grelhas de retorno do sistema de condicionamento de ar ficam melhor posicionadas quando montadas no teto da sala, imediatamente acima das ventoinhas. Isso reduz o caminho do ar quente que deixa o rack, reduzindo as chances de aquecimento do ar sala.

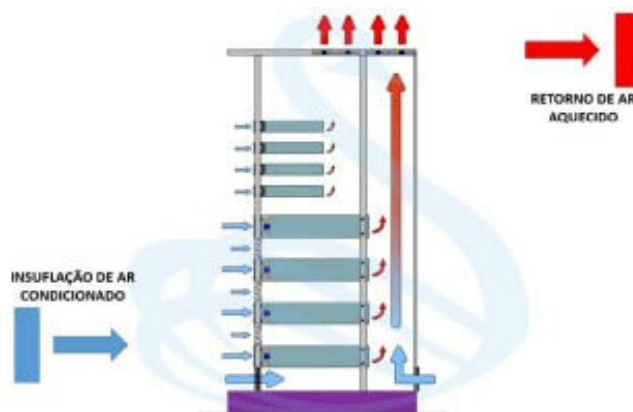


figura 6.134 montagem da estratégia #11 com o concurso de sistema de ar condicionado na sala acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #37

A figura 6.135 mostra o arranjo mais comum da estratégia #37. Que é a estratégia #17 assistida por sistema de condicionamento da sala. Uma vez que os amplificadores são de aspiração traseira, o arrefecimento dos racks recomenda uma certa cautela.

Se você lembra, sugeri a instalação de bandejas metálicas na parte traseira dos amplificadores, de maneira a formar túneis individuais de aspiração para cada amplificador.

É certo que os amplificadores precisam aspirar ar sem grandes dificuldades. Logo, as portas traseiras dos rack devem ter aberturas para a passagem do ar sem restrições. Que são insufladas diretamente pelo sistema de ar condicionado como sugere a figura.

Mencionei antes e faço questão de repetir agora. Caso os amplificadores não disponham de filtros em suas admissões, recomendo que filtros de qualidade sejam instalados no interior do rack imediatamente após cada abertura de ar da porta traseira.

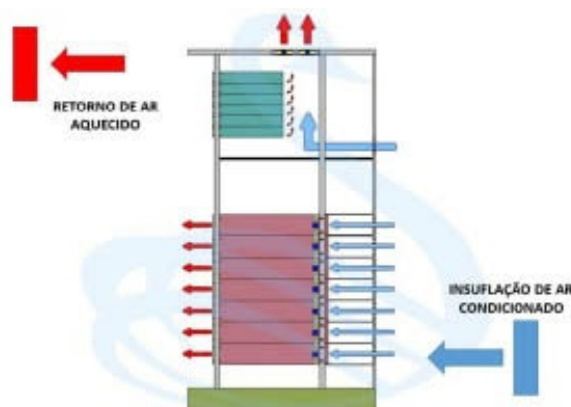


figura 6.135 montagem da estratégia #17 com o concurso de sistema de ar condicionado na sala acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra coisa que sugeri antes foi a colocação de uma bandeja integral acima dos amplificadores, separando o interior do rack em dois espaços. O dos amplificadores, abaixo

e o dos processadores acima. Vimos que o arrefecimento dos processadores se faz como se a parte superior do rack fosse um segundo rack acima do de baixo.

Portanto, a admissão de ar frio é feita pela porta traseira. Idealmente, as grelhas de insuflação do ar frio proveniente do sistema de condicionamento de ar ficam alinhadas com as aberturas da porta traseira.

Como as ventoinhas de exaustão do rack são montadas no tampo superior, é melhor que as grelhas de retorno do sistema de ar condicionado da sala fiquem no teto, acima das ventoinhas do rack.

estratégia #38

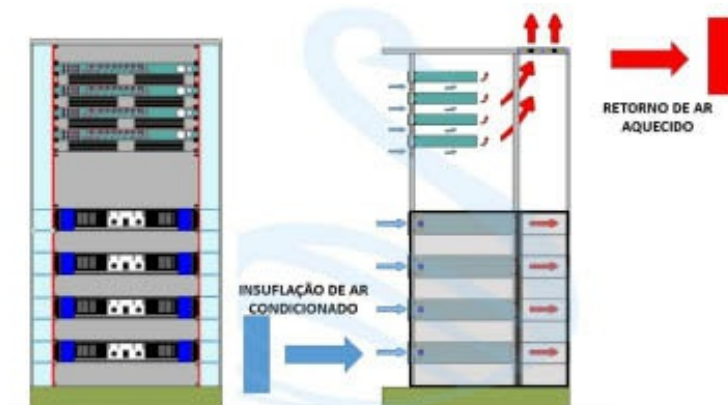


figura 6.136 montagem da estratégia #38

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #38 não é exatamente a estratégia #18 enriquecida com a ajuda do sistema de ar condicionado da sala, mas uma aproximação disso.

O mais importante é que no caso deste arranjo os amplificadores possuem aspiração frontal além de dissipadores de calor dispostos lateralmente. Me parece que nessa situação a eficiência pode ser comprometida se o ar frio for insuflado pela parte traseira inferior do rack. Veja no lado direito da figura que a insuflação frontal tem acesso direto para as ventoinhas dos amplificadores e, também, pelas laterais deixadas livres com essa exclusiva finalidade. Essa combinação possibilita que o ar quente seja deslocado da frente para a traseira do rack, sendo removido dele por aberturas feitas na porta traseira do rack. Portanto, com grande controle de direção.

O lado esquerdo da figura 6.136 exhibe claramente os canais laterais deixados dos lados dos amplificadores para arrefecimento dos dissipadores laterais.

Idealmente as grelhas de retorno do sistema de ar condicionado e as ventoinhas de exaustão do rack ficam alinhados.

Ou com as ventoinhas no tampo superior do rack e as grelhas no teto da sala, acima das ventoinhas, ou com as ventoinhas transferidas para as partes mais elevadas da porta traseira do rack e as grelhas de retorno do sistema de condicionamento de ar aproximadamente na altura do rack, como na figura 6.136.

O arrefecimento dos processadores pode ser tratado como de costume, no caso de geração

de calor de pouca monta, ou exigir cuidados especiais do contrário.

estratégia #39

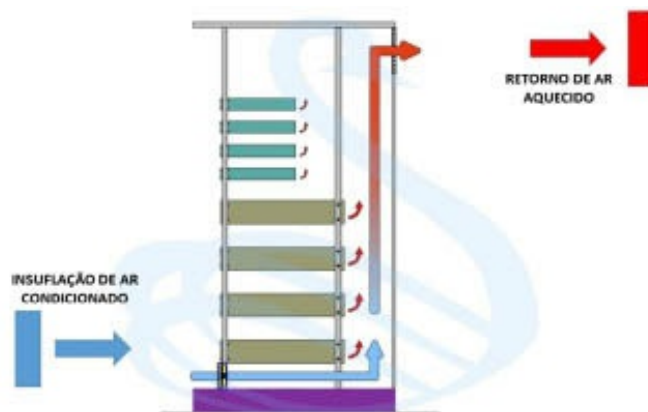


figura 6.137 esquema de montagem da estratégia #39, que é a estratégia #19 com acréscimo do sistema de condicionamento de ar na sala acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #19 deu origem à estratégia #39, através do acréscimo do sistema de condicionamento de ar na sala.

Devo lembrar que esta era uma alternativa considerada como uma das mais adequadas para ambientes sujos, com grande quantidade de particulados em suspensão no ar.

A inclusão de filtros antes ou depois das ventoinhas do rack é algo que se faz sem quaisquer dificuldades. Além disso, filtros do próprio sistema de condicionamento de ar aumentam muito a capacidade de eliminação ou redução substancial dos particulados e agentes contaminantes.

No caso da estratégia #19, havia uma contrapartida que era uma certa redução da capacidade térmica em relação aos métodos ativos de exaustão.

Entretanto, com a redução da temperatura do ar da sala como resultado do uso do sistema de ar condicionado, aquela contrapartida é mais do que compensada.

estratégia #40

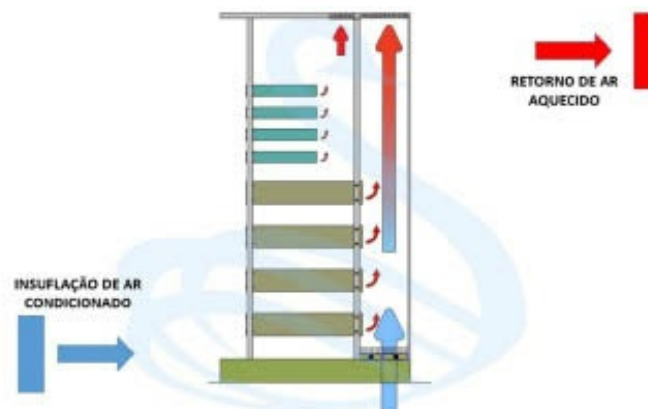


figura 6.138 montagem da estratégia #40

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vimos anteriormente que também era possível restaurar a eficiência da qual falamos nos parágrafos anteriores organizando as ventoinhas de insuflação na superfície horizontal da base do rack e as grelhas de saída de ar aquecido no tampo superior do rack em linha. Ou seja, provendo uma coluna de ar que constitua o trajeto principal para a corrente de natural de convecção. Tudo na vertical.

A reorganização das grelhas de insuflação e de retorno do sistema de ar condicionado deve

ser elaborada para favorecer a aspiração de ar pelo rack. Com o mesmo objetivo deve se pensar no alinhamento das grelhas de exaustão do rack com as grelhas de retorno do ar condicionado. Dessa forma se aumenta a eficiência da remoção de ar quente do rack. Essas providências aumentam muito a eficácia dos arranjos da estratégia #40.

estratégia #41

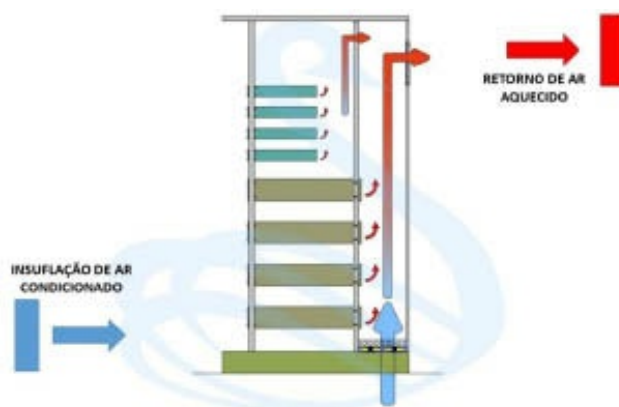


figura 6.139 montagem da estratégia #41 com grelha de retorno do ar condicionado com localização estudada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #41 é a estratégia #40 na qual as grelhas de exaustão do rack foram movidas da tampa superior do rack para a porta traseira. Logo, um arranjo apropriado para salas com altura diminuta.

Veja na figura 6.139 o que falamos acima de reorganizar as grelhas de exaustão do rack com as grelhas de retorno do ar condicionado.

Mais uma vez devo mencionar a importância dos filtros. Portanto, aproveito para lembrar da necessidade da troca periódica dos mesmos, única maneira de preservar o processo de arrefecimento térmico em condições técnicas adequadas. Do que depende a vida útil dos equipamentos.

Tão importante quanto isso é localizar em projetos as grelhas de insuflação e de retorno do sistema de condicionamento de ar na sala de modo a maximizar o processo como vimos inúmeras vezes até este ponto.

estratégia #42

A figura 6.140 reproduz a montagem típica da estratégia #42, que é diretamente relacionada com a estratégia #22. Com efeito, agora foi acrescido o sistema de condicionamento de ar na sala, com localização especial das grelhas de insuflação e de retorno.

Na figura você vê o rack de frente.

Assim é possível enxergar as duas correntes de convecção colunares que acabam sendo formadas nas duas laterais do rack.

Vimos antes que a estratégia #22 e, agora a #42, só são aplicáveis a racks com amplificadores equipados com dissipadores de calor laterais.

Portanto, todos os conceitos discutidos até este ponto e aplicáveis a amplificadores em métodos ativos de exaustão também são aplicáveis agora.

Estude com calma a figura 6.140 e seus desdobramentos.

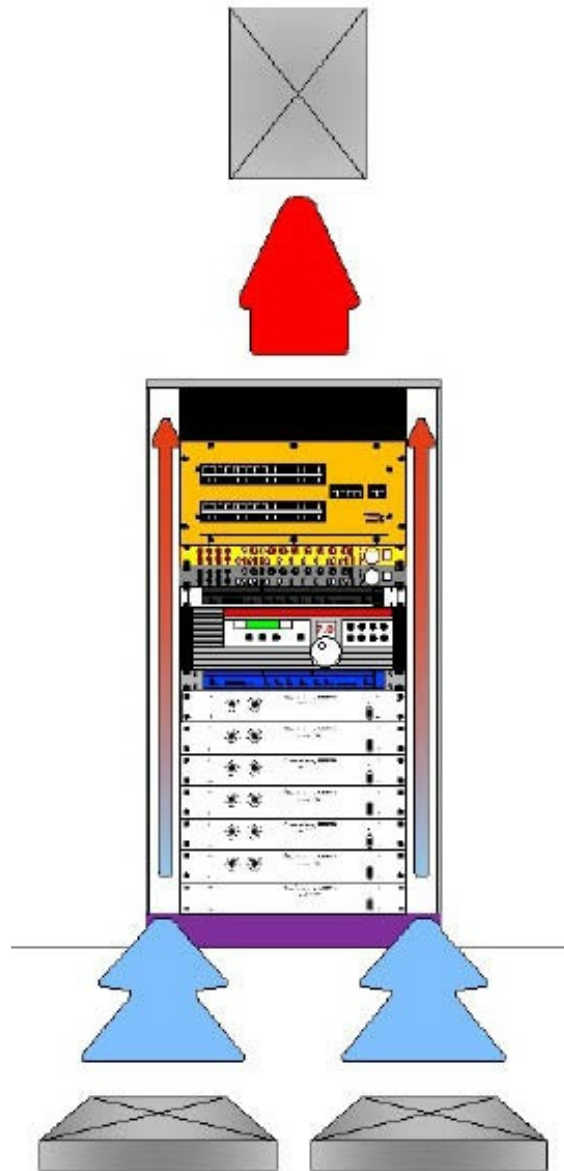


figura 6.140 montagem da estratégia #2 assistida por sistema de condicionamento de ar na sala acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #43

A figura 6.141 é um arranjo similar ao da primeira estratégia que discutimos quanto tratamos do método ativo híbrido da exaustão mais pressurização. Apenas que agora temos a assistência do sistema de condicionamento de ar na sala.

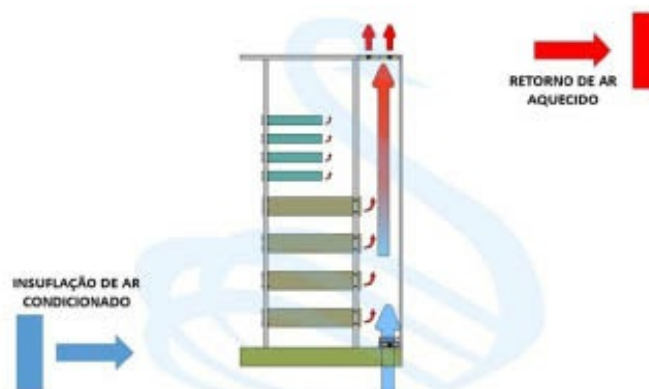


figura 6.141 arranjo da estratégia #43

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A insuflação é feita apenas pelo tampo da base do rack, sem que haja qualquer entrada de ar pela própria base ou por aberturas de acesso nas partes inferiores da porta traseira.

As ventoinhas de exaustão são montadas no tampo superior do rack acima das ventoinhas de exaustão. Vimos antes que essa técnica cria fluxo vertical de baixo para cima, com o ar frio do ambiente – agora resfriado – sendo injetado para o interior do rack porquanto o ar quente é expelido pela parte superior do rack. Como esse fluxo está em total sintonia com o fluxo natural de convecção, a eficiência é muito elevada.

O ar quente produzido pela parte traseira de todos os equipamentos acaba sendo integrado ao fluxo ascendente de ar. O que é algo natural e estimulado pelo fato da diferença de pressão dinâmica favorecer em cheio a essa condição.

Eis porque é recomendável escolher a capacidade de fluxo das ventoinhas de exaustão superior à das ventoinhas de insuflação entre uma e meia a duas vezes mais.

Isso já ajudará bastante a manter baixa a temperatura no interior do rack, desde que as duas ventoinhas tenham sido escolhidas em consonância com o calor gerado pelos equipamentos.

Outrossim, o sistema de condicionamento de ar da sala fará desse sistema um baluarte do arrefecimento.

Finalmente, lembro que quanto mais eficiente é o conjunto de arrefecimento, mais os filtros devem ser bem cuidados, pois entendo que eles são uma espécie de calcanhar de Aquiles de toda a estratégia. Razão pela qual cuidados muito especiais não são nenhum exagero.

estratégia #44

A segunda estratégia que discutimos quanto tratamos do método ativo híbrido da exaustão mais pressurização é representada na figura 6.142.

O arranjo é parecido com o da figura 6.141, sendo que a diferença está na maior capacidade das ventoinhas de exaustão, bem como em sua localização, privilegiando os processadores.

Claro, tudo isso com a ajuda do sistema de condicionamento de ar na sala, que mantém a temperatura interna constante.

A insuflação ainda é feita apenas pelo tampo da base do rack, sem que haja qualquer entrada de ar pela própria base ou por aberturas de acesso nas partes inferiores da porta traseira.

As ventoinhas de exaustão são montadas no tampo superior do rack acima das ventoinhas de exaustão, mas há um conjunto delas para atender especificamente os processadores.

Esta é uma estratégia particularmente eficaz, indicada para casos nos quais não só os amplificadores produzem muito calor, mas os processadores também o fazem.

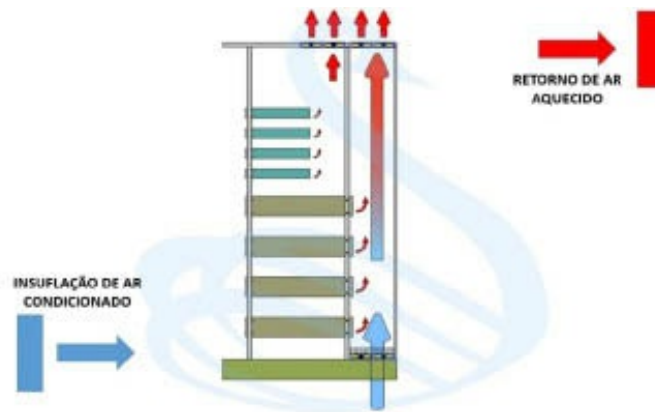


figura 6.142 arranjo da estratégia #44

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A capacidade de fluxo das ventoinhas de exaustão tem que ser aproximadamente o dobro da das ventoinhas de insuflação.

estratégia #45

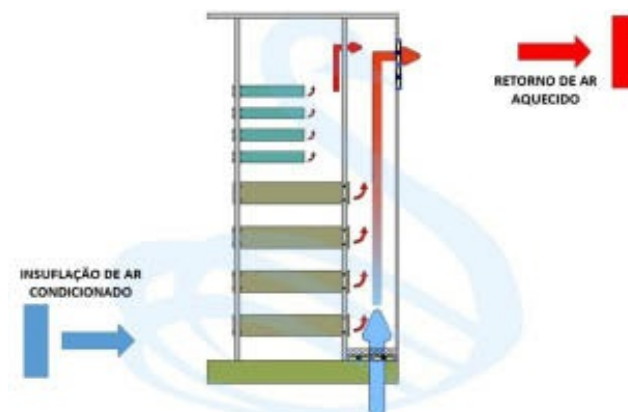


figura 6.143 arranjo da estratégia #45

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #45 é o arranjo do método ativo de exaustão mais pressurização assistido por sistema de condicionamento de ar na sala adequado para salas com pé direito muito reduzido. O arranjo é o da figura 6.143.

Como ocorre com arranjos semelhantes, a eficiência deste fica ligeiramente abaixo daquela dos arranjos colunares.

Isso pode ser aliviado se a capacidade CFM das ventoinhas de exaustão é aproximadamente o dobro da das ventoinhas de insuflação. Ou mais.

O sistema de condicionamento de ar na sala recupera toda a eficiência deste arranjo, tornando-o adequado para situações de elevadas cargas térmicas no interior do rack.

Lembre-se que no médio e no longo prazo essa adequação depende dos filtros serem mantidos em boas condições.

estratégia #46

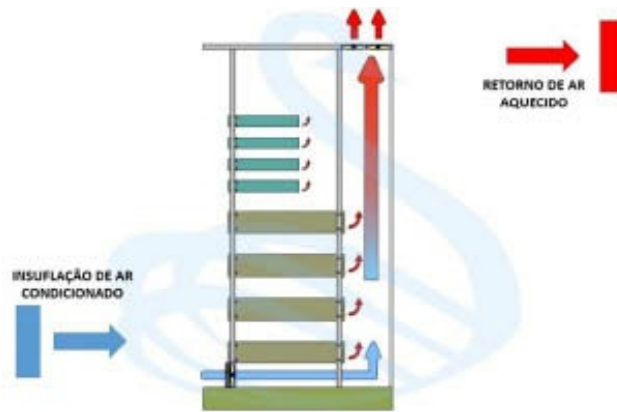


figura 6.144 arranjo da estratégia #46

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #46 é representada pelo arranjo da figura 6.144. As ventoinhas de insuflação que eram montadas horizontalmente no tampo da base do rack migraram para as partes inferiores da face frontal do rack, imediatamente abaixo do amplificador mais baixo.

Eis aqui uma alternativa que vai bem em casos nos quais o espaço interno da base inferior do rack fica congestionada com cabos e acessórios. Com efeito, quando isso ocorre a insuflação de ar pelas ventoinhas horizontais costuma ficar consideravelmente prejudicada, já que os acessos ficam bloqueados em maior ou menor grau.

O concurso do sistema de condicionamento de ar faz desta alternativa é uma opção excelente para um grande número de necessidades comuns no dia a dia dos sistemas profissionais de áudio.

estratégia #47

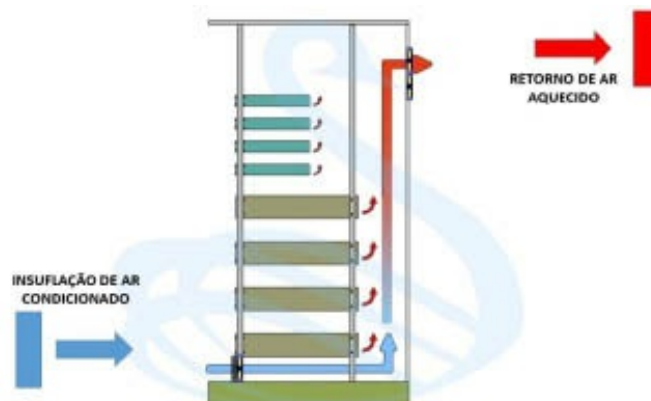


figura 6.145 arranjo da estratégia #47

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #47 está esquematizada na figura 6.145. As ventoinhas de insuflação ainda são montadas nas partes inferiores da face frontal do rack, imediatamente abaixo do amplificador mais baixo.

As ventoinhas de exaustão foram transferidas do tampo superior do rack para as partes mais elevadas da porta traseira.

Você já sabe. Uma alternativa sob medida para casos nos quais o espaço interno da base inferior do rack fica muito congestionada com cabos e acessórios e, além disso, para salas com pé direito muito reduzido.

O concurso do sistema de condicionamento de ar faz desta alternativa uma opção excelente para salas com pouca altura e necessidade de remoção de elevada quantidade de calor do

interior do rack.

6.8.7.7 O Método de Arrefecimento Assistido por Condicionamento de Ar por Fornecimento Objetivo para Um Grupo de Racks de Equipamentos Este método de arrefecimento é em tudo semelhante ao método correspondente válido apenas para um único rack, agora aplicável a muitos racks de equipamentos. Como regra geral os grupos de racks são organizados em filas. Quando há mais do que uma só fila as filas são arranjadas de forma tal que a disposição das filas resulte paralela. Não importando quantas filas são.

A ideia central nas estratégias deste método é, inicialmente, manter a temperatura por todo o espaço interior da sala da forma mais homogênea possível. Isto é, sem pontos com grandes variações térmicas para maior ou para menor em relação à média. Naturalmente, essa condição de homogeneidade só há de prevalecer quando os racks agrupados não estão produzindo calor. pois, quando há produção de calor dessa forma, é preciso confina-lo de maneira a favorecer sua remoção. O que vai na contramão da aludida homogeneidade.

Todos os cálculos do sistema de ar condicionado devem ser elaborados com esse objetivo em mente de sorte que bons resultados possam ser obtidos.

Os racks mais apropriados para a organização em fila, ou filas, são aqueles cujas arquiteturas mais comuns do ponto de vista de correntes de convecção para efeito de arrefecimento são aqueles indicados na figura 6.146. O rack X é um modelo padrão de partida, que pode ter qualquer altura. Os modelos A, B e C recebem insuflação frontal e as exaustões são por trás, por cima e pela combinação das duas coisas, respectivamente.

Os racks D, E e F são como os racks A, B e C, respectivamente, a diferença entre estes e os anteriores é que a insuflação se faz frontalmente, de baixo para cima, quase que sempre pela parte inferior interna dos racks.

Gosto de chamar as arquiteturas da figura 6.146 de primárias. Porque elas dão origem a muitas outras menos comuns e de aplicação mais difícil quando o assunto é arrefecimento térmico.

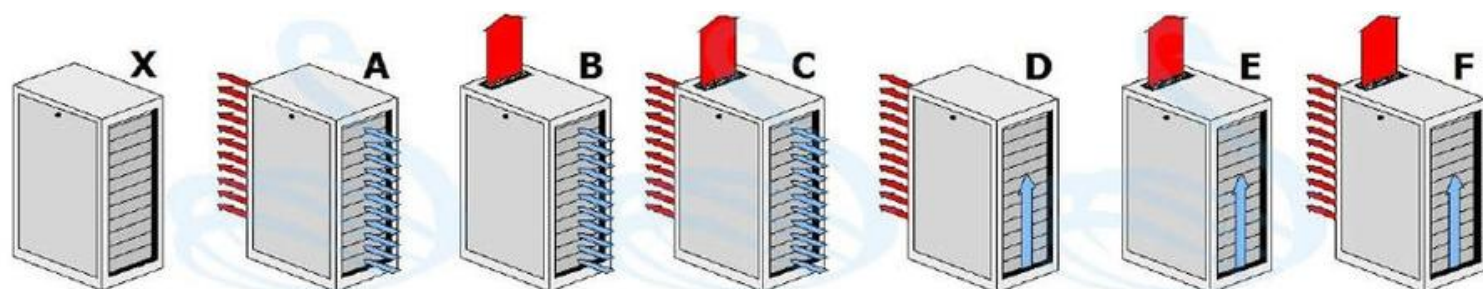


figura 6.146 arquiteturas mais comuns de racks concernentes às correntes de convecção para efeitos de arrefecimento térmico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veremos a seguir as oito estratégias principais do Método de Arrefecimento Assistido por Condicionamento de Ar por Fornecimento Objetivo para Um Grupo de Racks de Equipamentos.

estratégia #48 – base sala, fila única sem septos

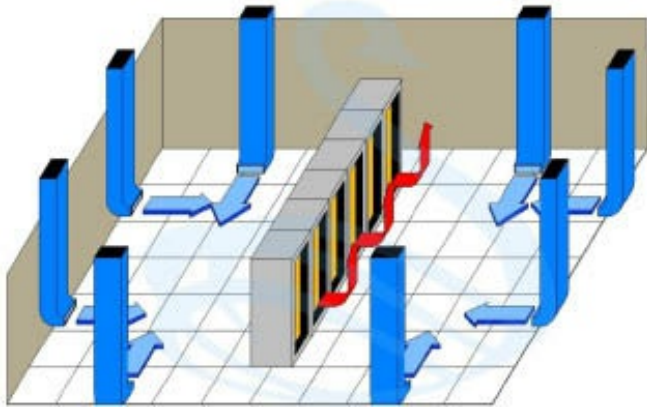


figura 6.147 montagem típica da estratégia #48

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Do ponto de vista funcional e, principalmente, como fica o típico arranjo físico nesta estratégia é o que se pode verificar facilmente, bastando que se atente para a visualização em perspectiva oferecida pela figura 6.147.

Ela mostra como seis racks são arranjados numa fila única.

A tomada de ar frio de todos os racks é feita pelas respectivas faces frontais que, na figura, estão do lado esquerdo dos racks. Portanto, o ar quente que deixa os racks sai pelas faces traseiras, na figura ao lado direito dos racks.

Pode-se ver na figura oito grelhas de insuflação distribuídas pela sala, todas elas lançando no espaço ar frio proveniente do sistema de condicionamento de ar.

Neste caso, o direcionamento do ar frio não é um parâmetro uma vez que o objetivo principal é o obter o resfriamento homogêneo por toda a sala. Entretanto, quando as grelhas de insuflação são localizadas próximas ao piso, como no desenho da figura 6.147, as correntes de convecção térmica são estimuladas.

A figura não mostra, mas as grelhas de retorno do sistema de ar condicionado podem ser instaladas no forro da sala, de forma distribuída. Alternativamente é possível concentrar mais ou menos essas grelhas sobre a região onde se verifica a subida do ar quente proveniente dos racks com mais intensidade. Na figura, a região do forro para onde apontam as setas vermelhas.

Estas são as linhas gerais da estratégia #48.

estratégia #49 – base sala, duas filas sem septos A figura 6.148 mostra o arranjo mais comum da estratégia #49.

Lá estão duas filas organizadas em configuração back-to-back. Ou seja, as tomadas de ar frio de todos os racks é feita pelas respectivas faces frontais que, nesta figura, estão sempre mais próximas das paredes laterais.

O ar quente que deixa todos os racks sai pelas faces traseiras dos mesmos que, na figura 80, está ao centro.

Note que essa arquitetura é uma das maneiras de apartar as regiões com ar frio, que ficam

nas laterais, da região com ar quente, que é a região central da sala.

Lembre que esse era um dos fundamentos do arrefecimento térmico.

Você já deve ter percebido que há algumas maneiras diferentes de organizar os racks, mas as melhores fórmulas são equivalentes à da figura 6.148.

Deixo como exercício para quem quiser elaborar essas arquiteturas alternativas.

As grelhas de retorno do sistema de ar condicionado devem estar por todo o teto da sala, mas agora com óbvia concentração sobre a região com ar mais quente, exatamente entre as filas de racks.

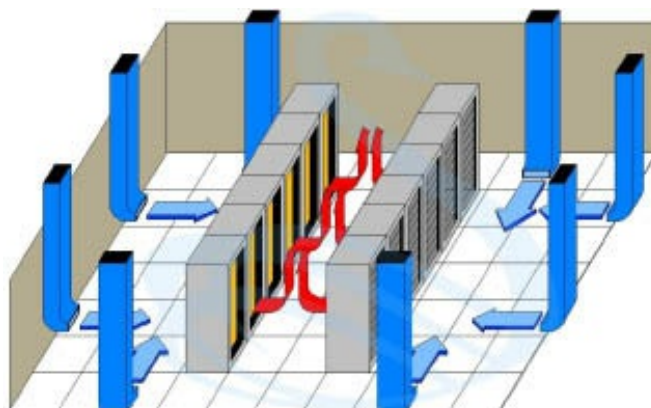


figura 6.148 montagem típica da estratégia #49

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #50 – base sala, fila única com septos

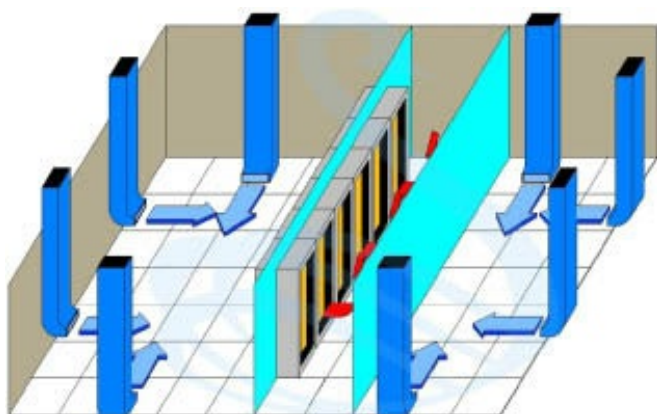


figura 6.149 montagem típica da estratégia #50

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #50 é uma nítida evolução da estratégia #48. Veja que foi incluído um septo no entorno da fila de racks e um segundo septo em forma de parede, ambos indicados na figura na cor esmeralda.

A ideia por trás disso é separar de forma muito eficiente a região da sala com ar quente das demais áreas da sala, com ar mais frio. Como nas estratégias #48 e #49, as grelhas de retorno do sistema de ar condicionado devem estar por todo o teto da sala com concentração no teto da região com ar mais quente, para onde apontam as setas vermelhas da figura. Isto é, entre as filas de racks.

estratégia #51 – base sala, duas filas com septos A estratégia #51 é a versão da estratégia #50 adequada para duas filas de racks.

Os dois septos ficam no entorno das duas filas de racks, ambos ainda indicados na figura

na cor esmeralda.

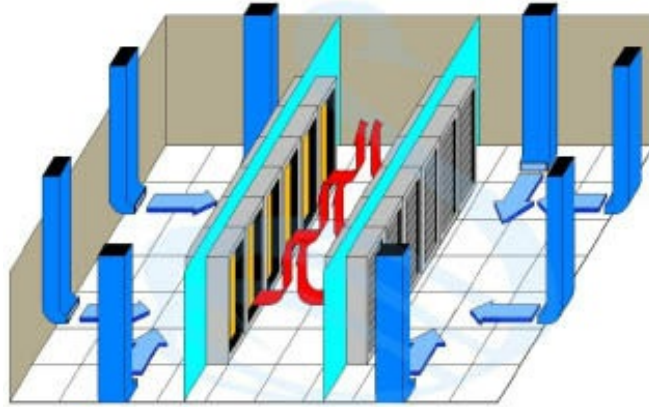


figura 6.150 montagem típica da estratégia #51

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nas estratégias #48, #49 e #50, as grelhas de retorno do sistema de ar condicionado deviam estar por todo o teto da sala, mas com concentração sobre a região com ar mais quente, para onde apontam as setas vermelhas de todas as figuras. Isso também é aplicável à estratégia #51.

estratégia #52 – base sala, fila única com septos e tampa enclausurando o espaço quente A estratégia #52, ilustrada nos detalhes da figura 6.151, aplica-se ao caso de uma só fila.

A diferença entre ela e as estratégias #48, #49, #50 e #51 é que na #52 a região com ar quente na sala fica totalmente enclausurada.

Tal aperfeiçoamento na segmentação integral da região da sala com ar quente proporciona elevada eficiência ao longo de todo o processo de arrefecimento térmico dos racks. Entretanto, a hermetização deve ser objeto de muitos cuidados.

Portanto, o cerne da estratégia é criar um teto específico sobre os septos.

Presumivelmente as paredes da sala perpendiculares aos septos ajudam a hermetizar a área que contém ar quente. Entretanto, esse fechamento também pode ser obtido com panos de vidro, possivelmente com portas para acesso das equipes técnicas.

As grelhas de retorno do sistema de ar condicionado devem estar espalhadas pelo teto de toda a sala.

Outrossim, é fundamental que haja concentração de grelhas de retorno por sobre toda a área com ar quente, de modo a possibilitar a exaustão rápida dessa massa de ar.

A figura 6.151 mostra um teto plano vedando a região com ar mais quente da sala.

Como vimos antes, esse teto pode assumir inúmeros formatos geométricos, com as únicas preocupações de que a hermetização seja muito eficaz e que a geometria do teto facilite o escoamento do ar aquecido da sala.

Muitos questionam sobre os materiais que podem ser usados nos septos. O mais comum deles é o vidro, já que isso possibilita visualizar o interior da sala para efeito de acompanhamento do que ocorre em seu interior.

Mas outros materiais podem ser empregados.

Uma lista deles incluirá o gesso, couro, placas de borracha sintética, placas de fibras sintéticas em geral, alvenarias leves a quaisquer títulos, lâminas plásticas de alto impacto, e uma longa série outros materiais que podem ser encontrados com facilidade no local.

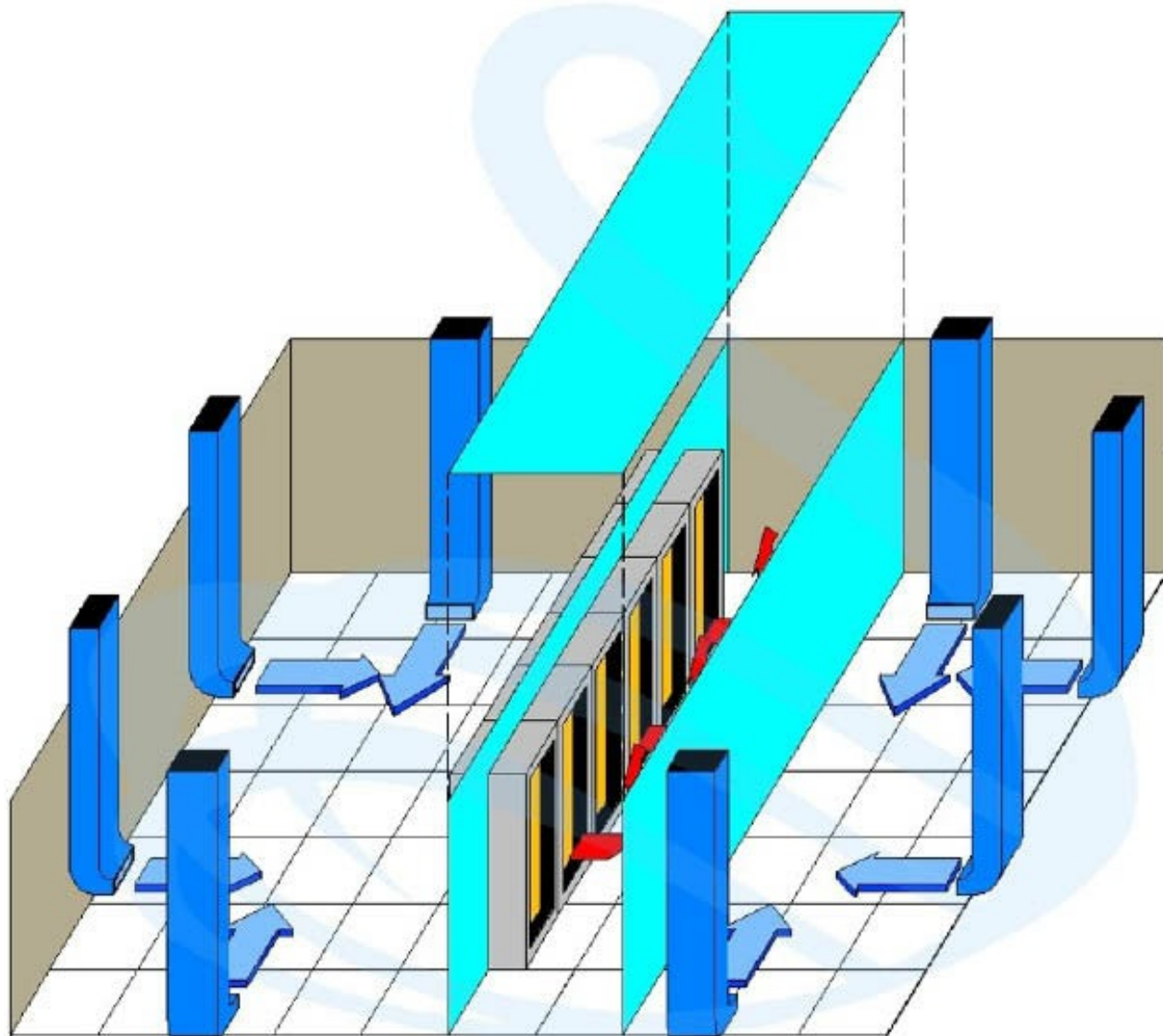


figura 6.151 montagem típica da estratégia #52

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #53 – base sala, duas filas com septos e coifa enclausurando o espaço quente

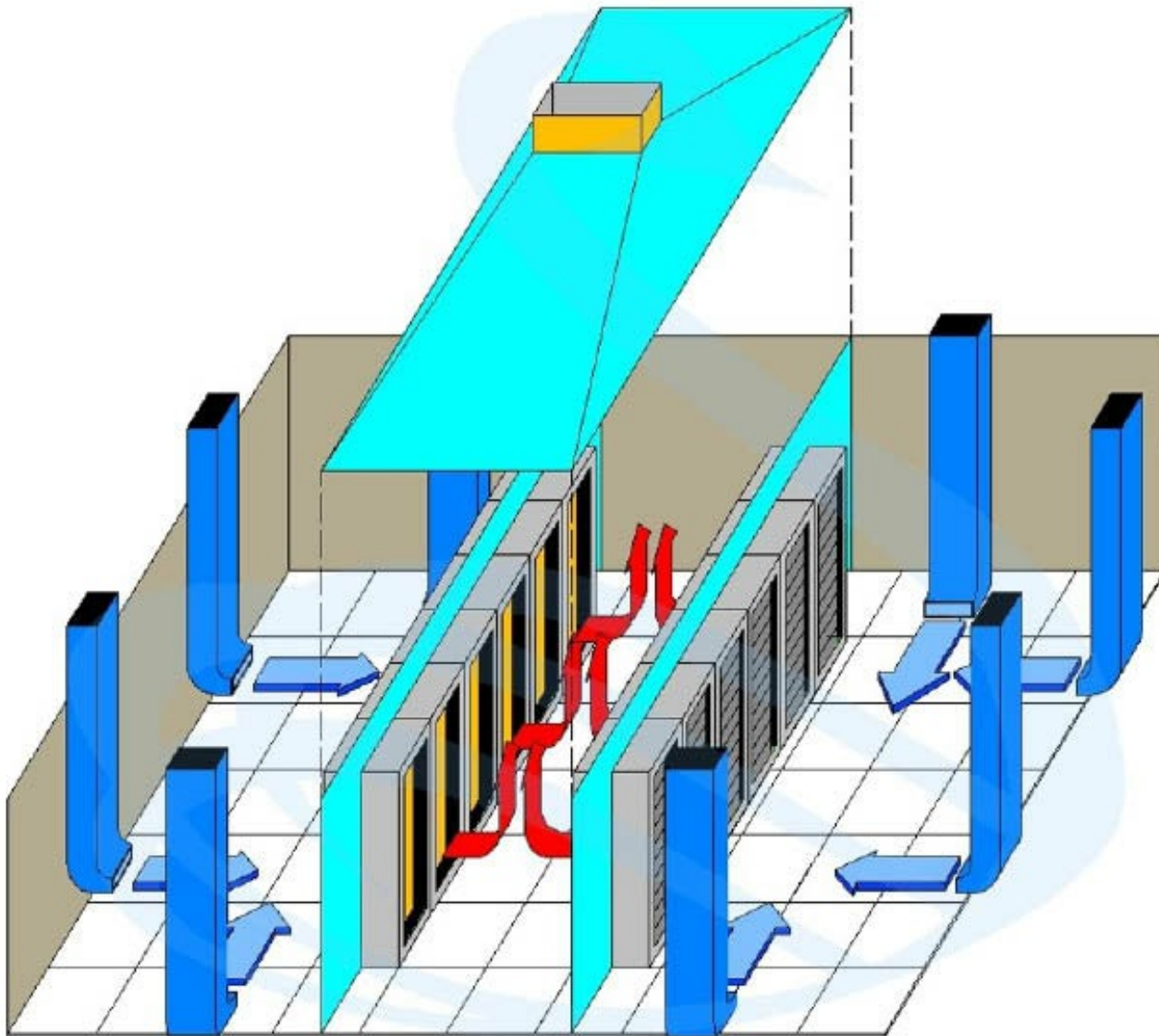


figura 6.152 montagem típica da estratégia #53

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ilustrada na figura 6.152, a estratégia #53 foi considerada, para este exemplo, numa situação com duas filas de racks. A central continua sendo a utilização de teto sobre os septos. Como no caso anterior, as paredes da sala perpendiculares aos septos podem ser utilizadas para hermetizar a área que contém ar quente. Quando isso não for possível o fechamento também pode ser obtido com panos de vidro. O acesso através de portas é imperativo, já que também aqui a região com ar quente na sala fica totalmente confinada. Mais uma vez, tal segmentação integral da região da sala com ar quente proporciona uma eficiência muito elevada para o processo de arrefecimento dos racks.

Note que neste caso específico o teto tem a forma de uma coifa gigante. Aí está uma das fórmulas inteligentes que facilita a remoção do ar quente da sala. Por óbvio, as grelhas de retorno para as regiões com ar mais frio também devem existir.

Os materiais para os septos são como discutido há pouco. O mesmo aplica-se à coifa gigante.

estratégia #54 – base sala, uma fila com arquitetura de rack tipo B da figura 6.146

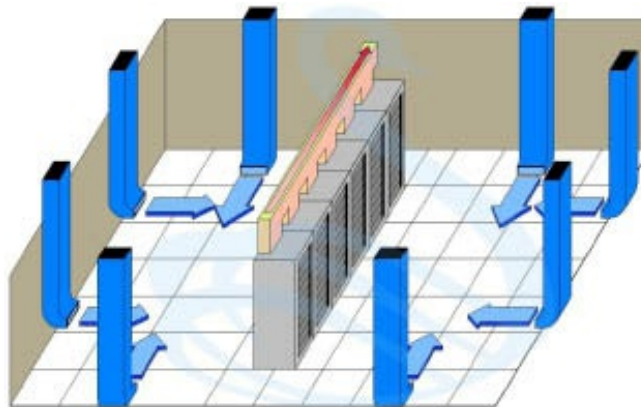


figura 6.153 montagem típica da estratégia #54
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #54 fica bem caracteriza no desenho da figura 6.153.

Como se pode perceber numa análise muito rápida, a principal diferença entre esta estratégia e as demais do Método de Arrefecimento Assistido por Condicionamento de Ar por Fornecimento Objetivo para Um Grupo de Racks de Equipamentos é que, desta vez, a arquitetura dos racks de equipamentos é a “B”, ilustrada na figura 6.146.

Como esses racks possuem exaustão pela tampa superior, fica relativamente fácil construir um duto superior exclusivamente destinado a captar o ar quente que deixa todos os racks. Esse duto pode ser instalado imediatamente acima dos racks, mas também pode ficar “escondido” acima do teto normal da sala.

De modo a evitar que o calor do duto e seus acessos seja transmitido para a sala, o duto pode e deve ser revestido com qualquer material com propriedades de isolamento térmica comprovada. Esses materiais são facilmente encontrados em lojas que comercializam produtos e acessórios para sistemas de ar condicionado.

O fundamento dessa estratégia continua sendo separar fisicamente o fluxo de ar quente na sala dos fluxos de ar frio. Como a própria figura sugere, essa é uma forma muito eficiente de obter essa separação e, por isso mesmo, uma modalidade de arrefecimento térmico que torna-se muito adequada para casos de produção de calor em grandes quantidades.

estratégia #55 – base sala, duas filas com arquitetura de rack B da figura 6.146

A estratégia #55 é a variante da estratégia #54, aplicável a duas ou mais filas de racks de equipamentos.

Portanto, tudo o que falamos acima para a estratégia #54 continua valendo aqui.

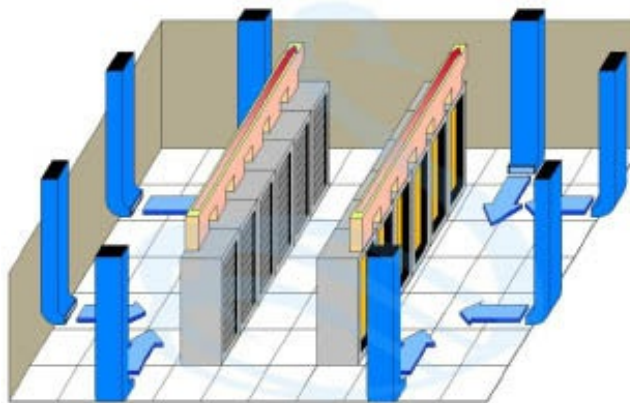


figura 6.154 montagem típica da estratégia #55

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A montagem desta estratégia é o que está na figura 6.154.

6.8.7.8 O Método de Arrefecimento Assistido por Condicionamento de Ar Preferência para Corredores para Um Grupo de Racks de Equipamentos Neste método de arrefecimento a ideia não é mais manter a temperatura homogênea por toda a sala, mas sim concentrar o ar frio nos corredores da sala nos quais os racks promovem a aspiração do ar da sala.

Isso é relativamente fácil conseguir se os leiautes forem elaborados com essa precípua intenção.

Veremos a seguir algumas estratégias nessa linha.

estratégia #56 – base corredor, uma fila

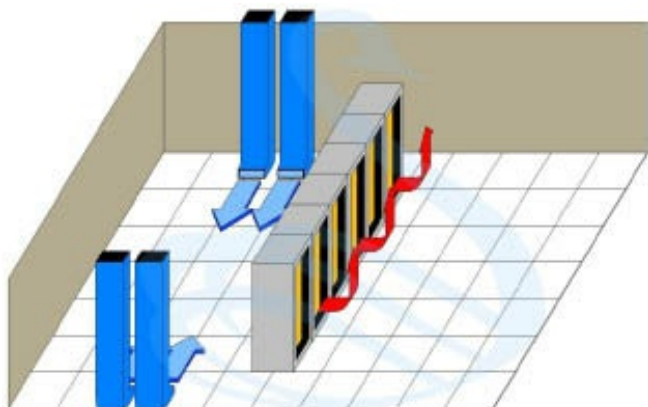


figura 6.155 montagem típica da estratégia #56

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A maneira mais simples e direta de se fazer a montagem própria para a estratégia #56 é como mostra a figura 6.155. Trata-se de um caso caracterizado por uma única fila de racks de equipamentos, todos os racks com arquitetura “A” da figura 6.146.

Assim, são alinhadas as faces de todos os racks que fazem a tomada de ar frio, superfície maior essa que passa a fazer uma fronteira virtual para definir o corredor dedicado ao ar mais frio em toda a sala.

As grelhas de insuflação ficam todas instaladas de modo que o ar frio proveniente do sistema de ar condicionado seja soprado na quantidade adequada no corredor de ar frio.

Do outro lado da fila de racks, ou seja, do lado oposto ao do corredor de ar frio, está região onde os racks farão a exaustão de ar quente. Logo, as grelhas de retorno do sistema de condicionamento de ar podem estar distribuídas pela sala, mas recomenda-se uma boa

concentração delas bem acima da região para onde apontam as setas vermelhas da figura.

estratégia #57 – base corredor, duas filas

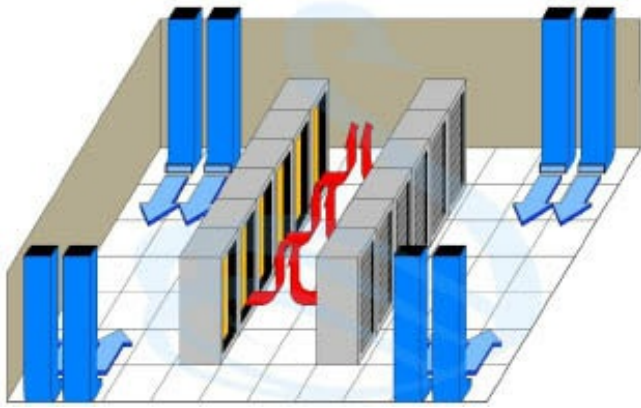


figura 6.156 montagem típica da estratégia #57

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #57 é a versão da estratégia #56, ajustada para duas ou mais filas de racks de equipamentos. O que implica que haverá dois ou mais corredores de ar frio. Creio que a figura 6.156 ilustra este ponto com extraordinária felicidade.

Então, as grelhas de insuflação podem ficar instaladas de modo que o ar frio proveniente do sistema de ar condicionado seja soprado na quantidade adequada em todos os corredores de ar frio da sala. No caso do exemplo da figura 6.156 são dois os corredores de ar frio.

A região onde os racks fazem a exaustão de ar quente é a parte central da sala. Então, as grelhas de retorno do sistema de condicionamento de ar devem ficar preferencialmente concentradas no teto acima dessa área mais quente.

Para onde apontam as setas vermelhas da figura.

estratégia #58 – base corredor, uma fila com septos A estratégia #58 vale para uma só fila de racks de equipamentos.

Posso dizer que a sala é dividida em três partes distintas. Uma central e duas laterais. A parte central é a região com ar mais quente exaurido pelos racks de equipamentos. As partes laterais formam os corredores com ar mais frio.

Note na figura que o esquema de insuflação não é o mesmo para as duas regiões mais frias da sala. No corredor mais frio à esquerda a insuflação segue os mesmos preceitos da estratégia #57. Que é adequada para corredores. A parte mais fria do lado direito da figura tem insuflação como havíamos definido anteriormente para obtenção de temperatura homogênea na sala. A razão de ser dessa providência é reduzir ao máximo possível a temperatura do corredor da direita da sala bem como a do septo da direita na figura.

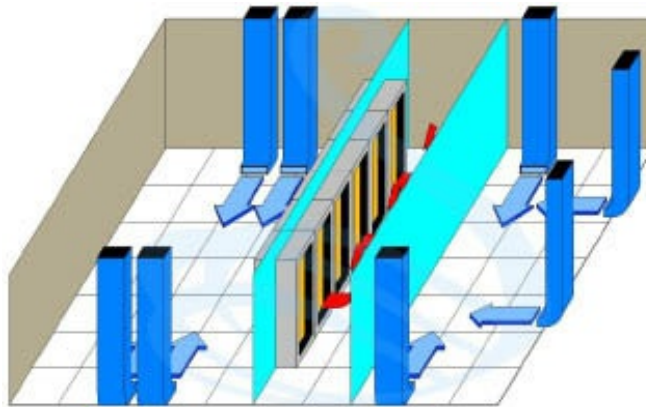


figura 6.157 montagem típica da estratégia #58

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O que separa as três regiões da sala são os dois septos mencionados. O da esquerda fica no entorno da fila de racks e outro, em forma de parede, à direita do anterior. Ambos são indicados na figura na cor esmeralda.

estratégia #59 – base corredor, duas filas com septos A estratégia #59 tem o arranjo típico indicado na figura 6.158. Lá estão duas filas de racks de equipamentos.

A sala ainda é dividida em três partes. A central, que é a região quente na qual os racks de equipamentos fazem a exaustão do ar quente, e as duas laterais. Estas são as regiões que formam os corredores com ar mais frio.

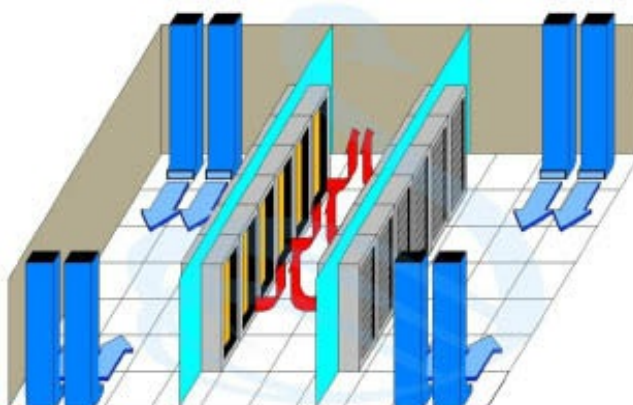


figura 6.158 montagem típica da estratégia #59

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Observe bem a figura e veja que, ao contrário do que ocorria na estratégia 58, agora o esquema de insuflação é o mesmo para as duas regiões mais frias da sala. Ambas adequadas para a condição voltada para os corredores.

Neste caso os dois septos que dividem a sala em três partes ficam ambos no entorno das filas de racks. Os dois são indicados na figura na cor esmeralda.

estratégia #60 – base corredor, uma fila, septos e tampa enclausurando o espaço quente

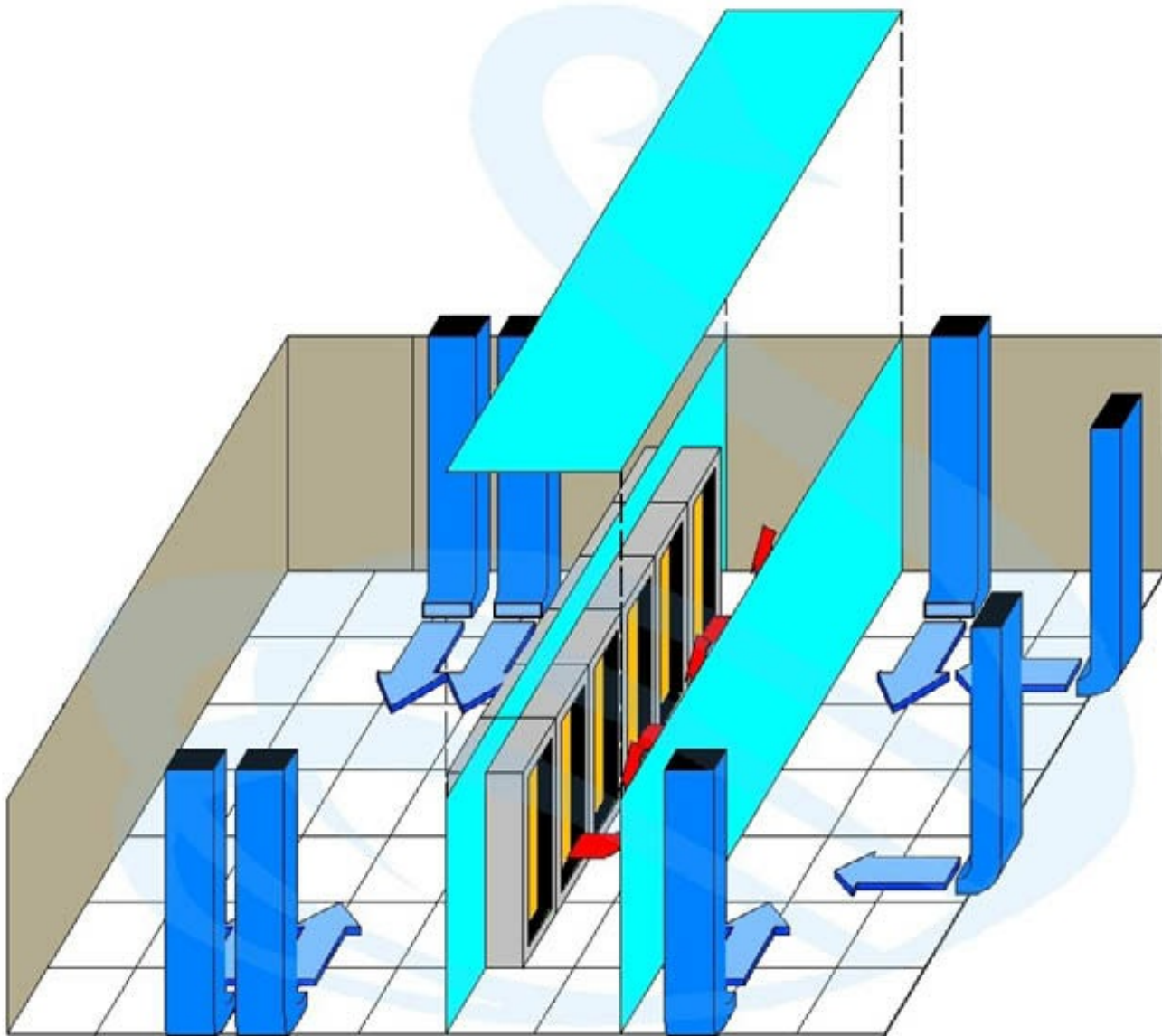


figura 6.159 montagem típica da estratégia #60

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #60 é uma variante da estratégia # 58, à qual foi acrescentado um tampo superior de modo a confinar totalmente a área quente da sala.

Como se percebe na figura 6.159, a sala ainda é dividida em três partes. A central, que é a região quente e as duas laterais, que formam os corredores com ar mais frio.

O esquema de insuflação volta a ser como na estratégia #58.

O ponto mais importante desta estratégia é a definição de emprego de teto específico sobre os septos. As paredes da sala que ficam perpendiculares aos septos podem ajudar na hermetização da área que contém ar quente na sala. Quando isso não for possível os correspondentes fechamentos podem ser obtidos com panos de vidro, possivelmente com portas para acesso de pessoal técnico.

As grelhas de retorno do sistema de ar condicionado devem estar espalhadas pelo teto de toda a sala. Mas é importante notar que é fundamental haver concentração de grelhas de retorno por sobre toda a área com ar quente, de modo a possibilitar a exaustão rápida dessa massa de ar.

A figura 6.159 exhibe um teto plano para vedar a região com ar mais quente da sala. Como vimos anteriormente, esse teto pode assumir inúmeros formatos geométricos, com as únicas

preocupações que a hermetização não pode perder sua eficácia e que a geometria do teto facilite o escoamento do ar aquecido desta região da sala.

Os materiais a usar nos septos são como discutimos anteriormente.

A vantagem do vidro é que ele permite visualizar o interior da sala para efeito de acompanhamento do que ocorre em seu interior.

Os septos são indicados na figura na cor esmeralda.

estratégia #61 – base corredor, duas filas com septos e coifa enclausurando o espaço quente

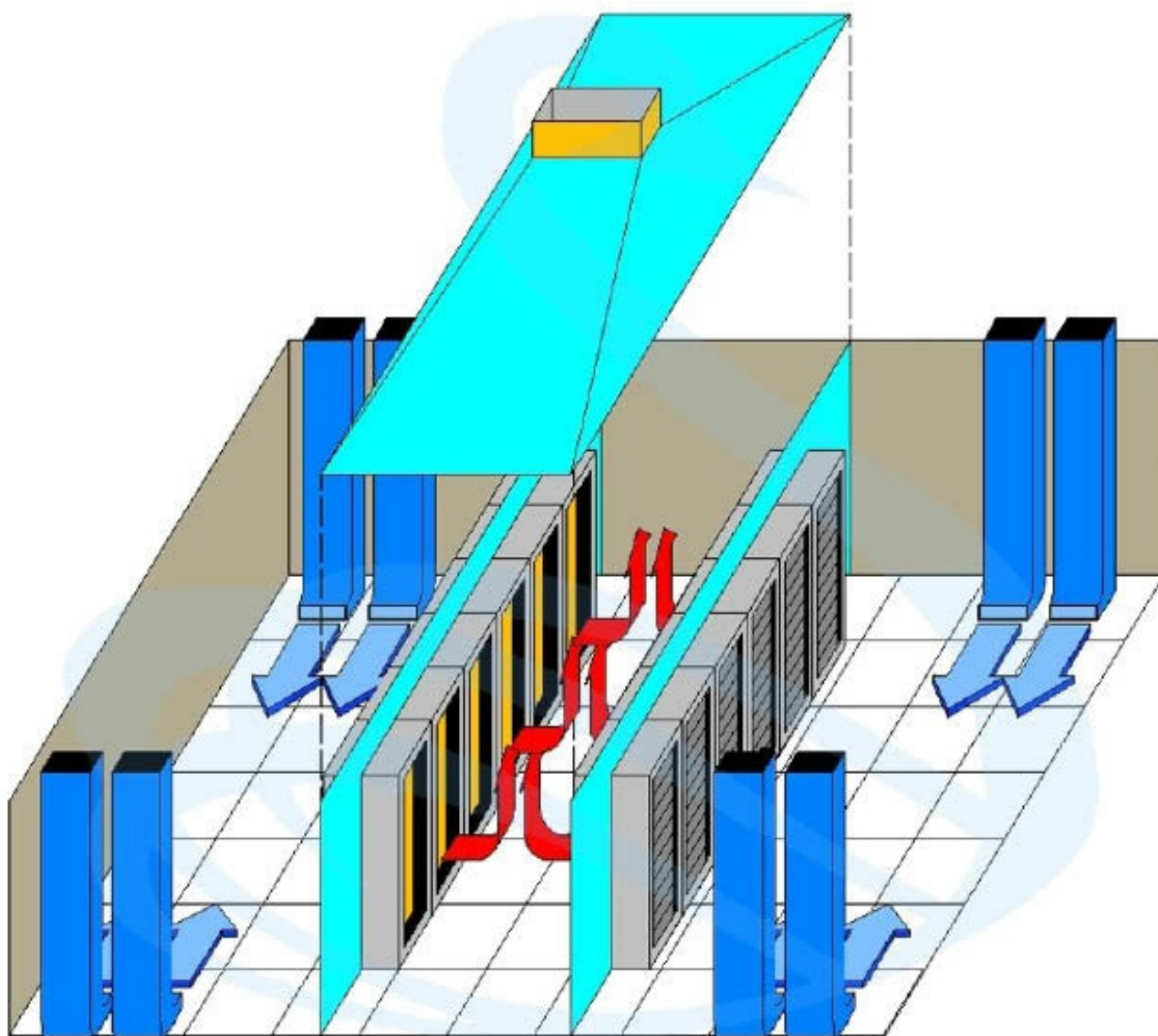


figura 6.160 montagem típica da estratégia #61

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.160 condensa de forma direta a estratégia #61.

São duas filas de racks de equipamentos, duas áreas com ar frio e uma área central com ar quente. As grelhas de insuflação estão igualmente divididas entre as duas áreas mais frias.

Todos os racks têm arquitetura “A” da figura 6.146.

A ideia principal ainda é utilizar um teto sobre os septos para discriminar a região com ar mais quente na sala. Como nos casos anteriores, as paredes da sala perpendiculares aos septos podem ser utilizadas para hermetizar a área que contém ar quente. Na impossibilidade de se

contar com esse recurso, panos de vidro podem ser utilizados para o fechamento. O acesso via portas é indispensável para as equipes técnicas, de manutenção e serviços e time de limpeza.

Como nos demais casos em que a região da sala com ar quente fica totalmente segmentada, a eficiência do processo de arrefecimento dos racks é bem elevada.

Também aqui o teto tem forma de coifa gigante. Com isso a remoção do ar quente da sala fica muito facilitada. As grelhas de retorno para as regiões com ar mais frio não podem ser omitidas.

Os materiais para os septos são como vimos anteriormente, o mesmo sendo aplicável à coifa gigante.

estratégia #62 – base corredor, uma fila com arquitetura de rack tipo B da figura 6.145, com exaustão dutada A estratégia #62 é o que mostra o desenho da figura 6.161.

Note que agora a arquitetura dos racks de equipamentos é a B, ilustrada na figura 6.146.

Com a exaustão feita pela tampa superior dos racks de equipamentos, pode-se fazer como nos casos semelhantes tratados anteriormente.

Ou seja, construir um duto superior destinado apenas à captação do ar quente proveniente dos racks de equipamentos. O duto pode montado diretamente acima dos racks, mas também pode ser instalado acima do teto normal da sala, fora da vista de quem está na sala.

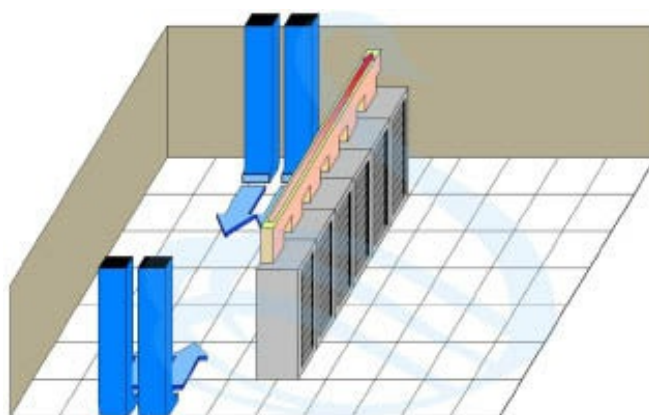


figura 6.161 montagem típica da estratégia #62

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Também já vimos que para evitar que o calor em trânsito pelo duto e seus meandros seja irradiado para a sala, é sempre desejável revestir esses dutos com qualquer material termicamente isolante.

A lógica desta estratégia consiste na separação visceralmente eficaz do fluxo de ar quente na sala e dos fluxos de ar frio.

Veja isso na figura 6.161.

Deve parecer visível que a eficácia desse processo também resulta da arquitetura característica e própria da estratégia #62.

estratégia #63 – base corredor, duas filas com exaustão dutada A estratégia #63 é a variante da estratégia #62, aplicável a duas ou mais filas de racks de equipamentos.

Portanto, tudo o que falamos acima para a estratégia #62 continua valendo aqui.

Todos os racks de equipamentos de todas as filas da sala devem ser como o rack de equipamentos tipo B da figura 6.146.

Talvez o que mais nos interesse saber sobre a estratégia #63 diz respeito à sua eficiência natural, sempre muito elevada.

Aliás, essa é precisamente a razão pela qual essa é uma das fórmulas mais recomendadas para sistemas de grande porte, nos quais a quantidade de racks de equipamentos é usualmente bastante elevada e a produção de calor, principalmente aquele gerado pelos amplificadores de potência, acenda a cifras tipicamente muito acima da média.

Ou, ao menos, são valores que podem ser facilmente considerados muito elevados em comparação com os próprios padrões de produção de calor de sistemas de médio e de grande porte.

Creio que a estas alturas você já consegue identificar o motivo dessa eficiência elevada. Sim senhor.

É a “canalização” do ar quente retirado por cima dos racks de equipamentos.

Quando esses dutos são revestidos com materiais termoisolantes a eficiência é ainda mais notável, uma vez que as paredes desses dutos irradiam apenas uma parcela ínfima do calor total produzido para o ambiente da sala.

Que, assim, apresenta a tendência de permanecer numa temperatura bastante reduzida, principalmente se consideramos o calor total produzido em todos os racks de equipamentos.

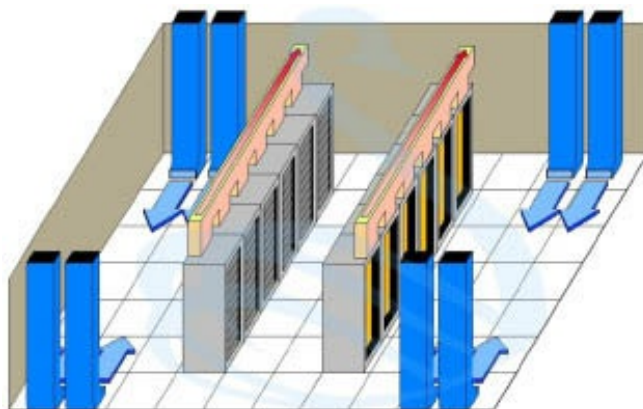


figura 6.162 montagem típica da estratégia #63

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 6.8.7.9 O Método de Arrefecimento Assistido por Condicionamento de Ar Preferência para Racks para Um Grupo de Racks de Equipamentos Deste ponto em diante estamos nos referindo a estratégias baseadas em insuflar o ar proveniente do sistema de condicionamento de ar diretamente nos racks de equipamentos e não mais nas salas.

estratégia #64 – base rack, uma fila A estratégia #64 é o que ilustra a figura 6.163. **Note que idealmente os racks de equipamentos são do tipo E da figura 6.146.**

No caso dessa figura, há uma única fila com seis racks de equipamentos.

Cada um desses racks recebe insuflação direta de ar frio, com acesso feito por sua parte

frontal inferior.

A exaustão de ar quente dos racks é feita pelas respectivas faces traseiras. Logo, as grelhas de retorno do sistema de ar condicionado devem ficar concentradas imediatamente acima dessa região.

Vale a pena frisar que além do ar frio injetado diretamente nos racks, e das grelhas de retorno mencionadas no parágrafo anterior, é perfeitamente possível que o sistema de ar condicionado atenda a sala com grelhas de insuflação e de retorno espalhadas por todo o espaço da sala. Tenha esse aspecto sempre em mente e procure analisar o porquê estudando a figura 6.163.

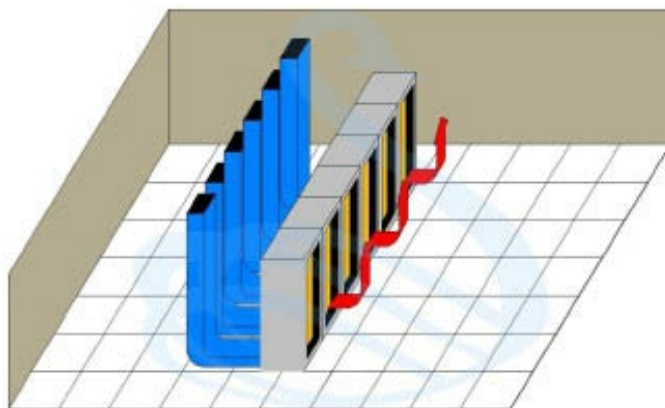


figura 6.163 montagem típica da estratégia #64
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #65 – base rack, duas ou mais filas

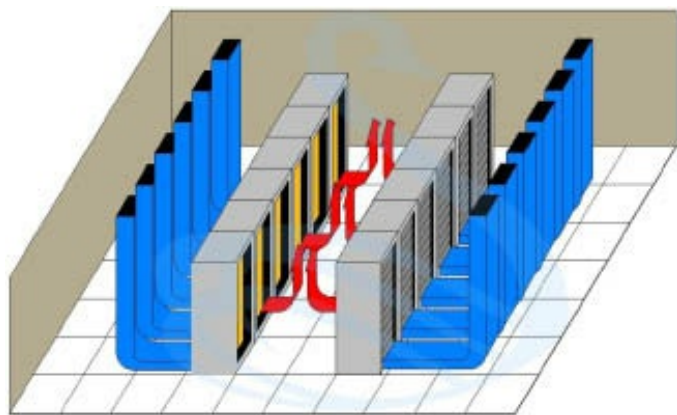


figura 6.164 montagem típica da estratégia #65
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #65 é a ampliação da estratégia #64 para comportar sistemas de maior porte, que usem duas ou mais filas de racks de equipamentos.

A montagem usual é o que ilustra a figura 6.164. Como na estratégia #64, todos os racks de equipamentos devem ser do tipo E da figura 6.146.

Cada um desses racks recebe insuflação direta de ar frio, com acesso feito por sua parte inferior nos painéis frontais.

A exaustão de ar quente de todos os racks de todas as filas deve ainda é feita pelas respectivas faces traseiras. Atente bem para o centro da sala na figura 6.164. Deve parecer evidente que precisamos concentrar as grelhas de retorno do sistema de ar condicionado bem acima dessa região.

Como no caso anterior, além do ar frio injetado diretamente nos racks, e das grelhas de retorno mencionadas, é perfeitamente possível e até mesmo desejável que o sistema de ar condicionado atenda a sala por completo com grelhas de insuflação e de retorno espalhadas por todo o espaço.

estratégia #66 – base rack, uma fila com septos A estratégia #66 é um aperfeiçoamento da estratégia #64.

Atenção para a figura 6.165.

Note que foram implementados dois septos, ambos indicados com cor azul turquesa na figura. O da esquerda fica por sobre a própria fila e o outro um pouco adiante dos racks.

Como nas estratégias #64 e #65 os racks de equipamentos devem ser do tipo E da figura 6.146.

O septo que fica sobre a fila de racks de equipamentos é o grande divisor da área com temperatura normal e a área quente, que fica no centro da sala. Essa área é quente porque é para lá que os racks de equipamentos descartam o ar quente produzido pelos equipamentos.

As grelhas de retorno do sistema de ar condicionado devem estar muito concentradas no forro dessa região quente. Também aqui é perfeitamente possível e desejável que, além do ar frio injetado diretamente nos racks e das grelhas de retorno mencionadas, o sistema de ar condicionado atenda a sala em suas áreas laterais com grelhas de insuflação e de retorno. Claro, tudo obedecendo com rigor ao projeto técnico de arrefecimento térmico.

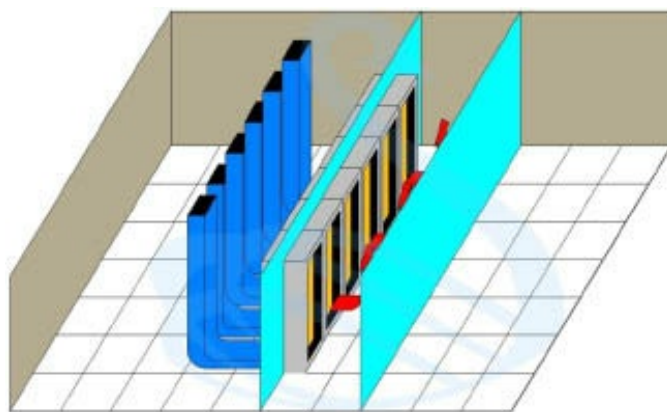


figura 6.165 montagem típica da estratégia #66

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #67 – base rack, duas filas com septos

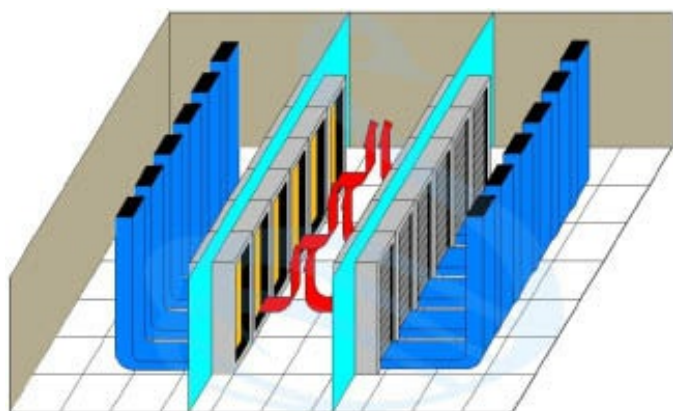


figura 6.166 montagem típica da estratégia #67

São duas filas. Sobre cada uma delas foi implementado um septo. Os dois septos estão indicados com cor azul turquesa na figura. Veja que o espaço circunscrito pelos dois septos define exatamente a área com temperatura mais elevada na sala, já que ela recebe o calor liberado por todos os racks de equipamentos de todas as filas.

Os racks de equipamentos ainda devem ser do tipo E da figura 6.146.

As grelhas de retorno do sistema de ar condicionado devem ficar concentradas no forro sobre essa região mais quente.

Além do ar frio injetado diretamente nos racks de equipamentos e das grelhas de retorno mencionadas, o sistema de ar condicionado pode muito bem atender a sala em suas áreas laterais. Então, com grelhas de insuflação e de retorno espalhadas regularmente pelo teto das áreas laterais.

estratégia #68 – base rack, uma fila, dois septos e hermetização

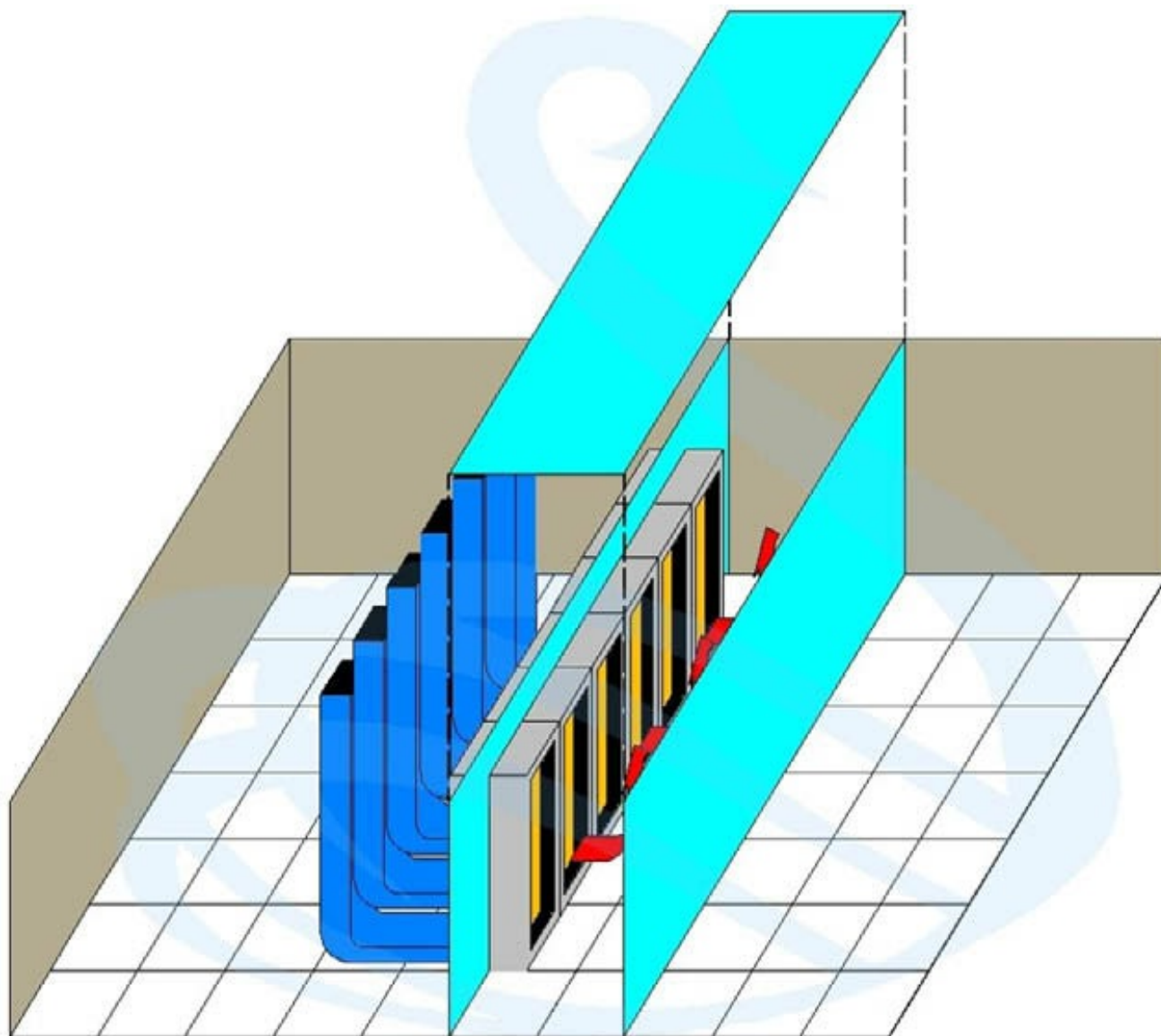


figura 6.167 montagem típica da estratégia #68

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #68 leva a estratégia #66 um patamar superior, também aplicável a casos de uma só fila de racks de equipamentos.

O núcleo fundamental desta estratégia é criar um teto dedicado, montado entre os dois septos, com a intenção de enclausurar a área mais quente da sala. Teto e septos estão indicados na figura com a cor azul turquesa na figura. Os racks de equipamentos ainda devem ser do tipo E da figura 6.146.

As paredes da sala perpendiculares aos dois septos podem favorecer a hermetização da região quente. Quando isso não for possível por quaisquer razões, a hermetização pode ser complementada com chapas de vidro e, de preferência, com portas para acesso das equipes técnicas.

Mais uma vez temos a região com ar quente da sala totalmente confinada. Como em casos semelhantes discutidos anteriormente, tal aperfeiçoamento na segmentação da região com ar quente aumenta muito a eficiência do processo de arrefecimento.

As grelhas de retorno do sistema de ar condicionado são concentradas no teto da região mais quente.

Mesmo com o ar frio injetado diretamente nos racks de equipamentos, o sistema de ar condicionado pode e deve atender a sala em suas áreas laterais. Então, com grelhas de insuflação e de retorno espalhadas pelos tetos dessas duas regiões da sala.

Como mencionei anteriormente, o teto plano vedando a região com ar mais quente da sala pode assumir inúmeros formatos geométricos, com as únicas preocupações que a hermetização seja eficaz e que a geometria do teto ainda facilite o escoamento do ar aquecido da sala.

estratégia #69 – base rack, duas filas com septos e coifa formando o espaço A
estratégia #69 é montada como exemplifica a figura 6.168.

Vemos duas filas de racks de equipamentos, duas áreas laterais formadas por dois septos verticais, ambas mantidas aproximadamente na temperatura ambiente, uma área central com ar mais quente e uma coifa gigante no lugar do teto entre os dois septos.

Todos os racks têm a arquitetura D da figura 6.146.

Claro que a ideia principal ainda é utilizar um teto sobre os septos. Como nos casos anteriores, as paredes da sala perpendiculares aos septos podem ser utilizadas para hermetizar a área que contém ar quente na sala. Se isso não for possível por quaisquer motivos, panos de vidro podem ser utilizados para o fechamento. O acesso via portas é em sempre indispensável.

Como nos demais casos em que a região da sala com ar quente fica totalmente apartada, a eficiência do processo de arrefecimento dos racks é muito elevada.

O teto tem forma de uma coifa gigante. O que se faz para facilitar o escoamento do ar quente da sala.

Tanto quanto o formato característico de uma coifa convencional de cozinha ajuda a escoar o ar quente engordurado que sobe das panelas e frigideiras.

O ar frio injetado diretamente nos racks de equipamentos não dispensa que o sistema de ar condicionado atenda a sala em suas áreas laterais.

Com grelhas de insuflação e de retorno.

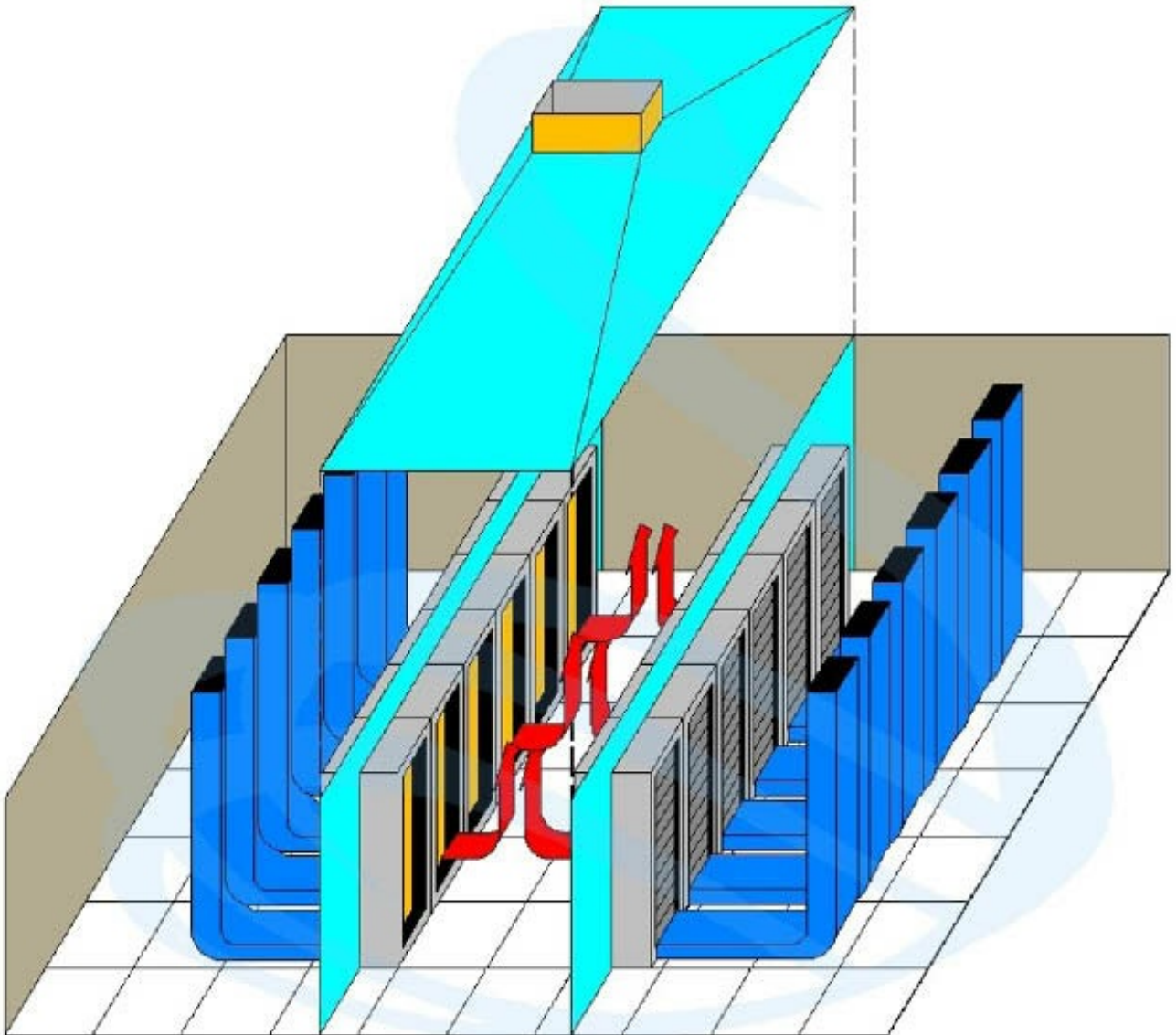


figura 6.168 montagem típica da estratégia #69

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #70 – base rack, uma fila com exaustão dutada
Podemos ver o esquema da estratégia #70 na figura 6.169.

Os racks de equipamentos devem ser como o rack de equipamentos tipo B da figura 6.146.

Pelo que discutimos anteriormente deve ficar evidente para você que esta é outra estratégia caracterizada pela eficiência natural e muito elevada.

Essa característica da estratégia #70 faz dela uma das opções mais recomendadas para casos de sistemas de médio e de grande porte nos quais a produção da quantidade de calor varia de mediana a muito elevada.

Mais uma vez a razão de ser dessa eficiência elevada é a canalização do ar quente retirado por cima dos racks de equipamentos. Assim sendo, revestir os dutos com materiais termoisolantes potencializa essa eficiência, naturalmente já elevada.

A tendência é que a temperatura da sala permaneça a mesma que seria com o sistema desligado, mesmo diante do calor total produzido nos racks de equipamentos.

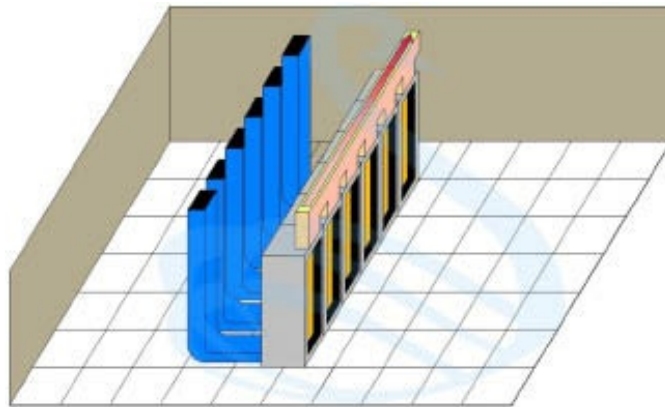


figura 6.169 montagem típica da estratégia #70

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #71 – base rack, duas filas com exaustão dutada

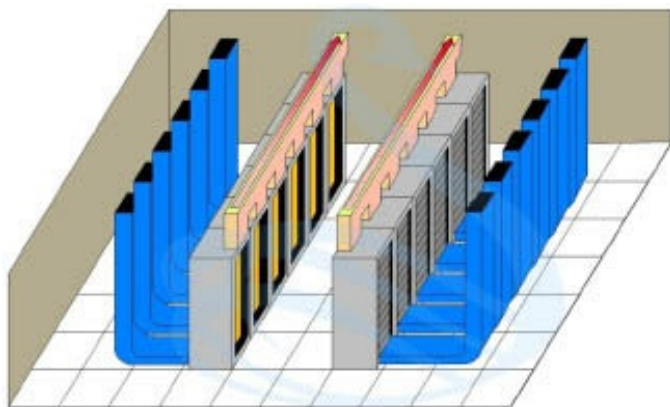


figura 6.170 montagem típica da estratégia #71

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #71 é esquematizada na figura 6.170. Mais uma vez todos os racks de equipamentos devem ser como o rack de equipamentos tipo B da figura 6.146.

Como se pode perceber pela figura, a estratégia #71 é a versão da estratégia #70 ajustada para duas ou mais filas de racks de equipamentos.

Portanto, esta estratégia continua sendo caracterizada pela eficiência natural muito elevada.

Com duas ou mais filas a alternativa é própria para sistemas de grande porte com produção consideravelmente elevada de quantidade de calor. O que ainda se deve à canalização do ar quente retirado por cima dos racks de equipamentos. Também aqui o revestimento dos dutos com materiais termoisolantes potencializa a eficiência.

Como na estratégia #70, a tendência é que a temperatura da sala permaneça a mesma que seria com o sistema desligado. Isso, independentemente do calor total produzido nos racks de equipamentos.

Tanto agora quanto para a estratégia #70 o sistema de ar condicionado pode ser vantajosamente utilizado para reduzir a temperatura da sala.

estratégia #72 – base rack, uma ou mais filas com insuflação e exaustão dutadas
Embora ainda relacionada com o Método de Arrefecimento Assistido por Condicionamento de Ar Preferência para Racks para Um Grupo de Racks de Equipamentos, esta estratégia difere muito de todas as demais discutidas até aqui. Com efeito, tanto a insuflação quanto a exaustão são dutadas. Na sala, todos os dutos seguem

verticalmente e ficam em compartimentos para tanto existentes entre os racks. Creio que a figura 6.171 ilustra com muita eloquência a fórmula utilizada com exclusividade nesta muito peculiar estratégia.

Embora a técnica possa ser aplicada a tantas filas quantas se queira, ela cai melhor para sistemas com uma só fila.

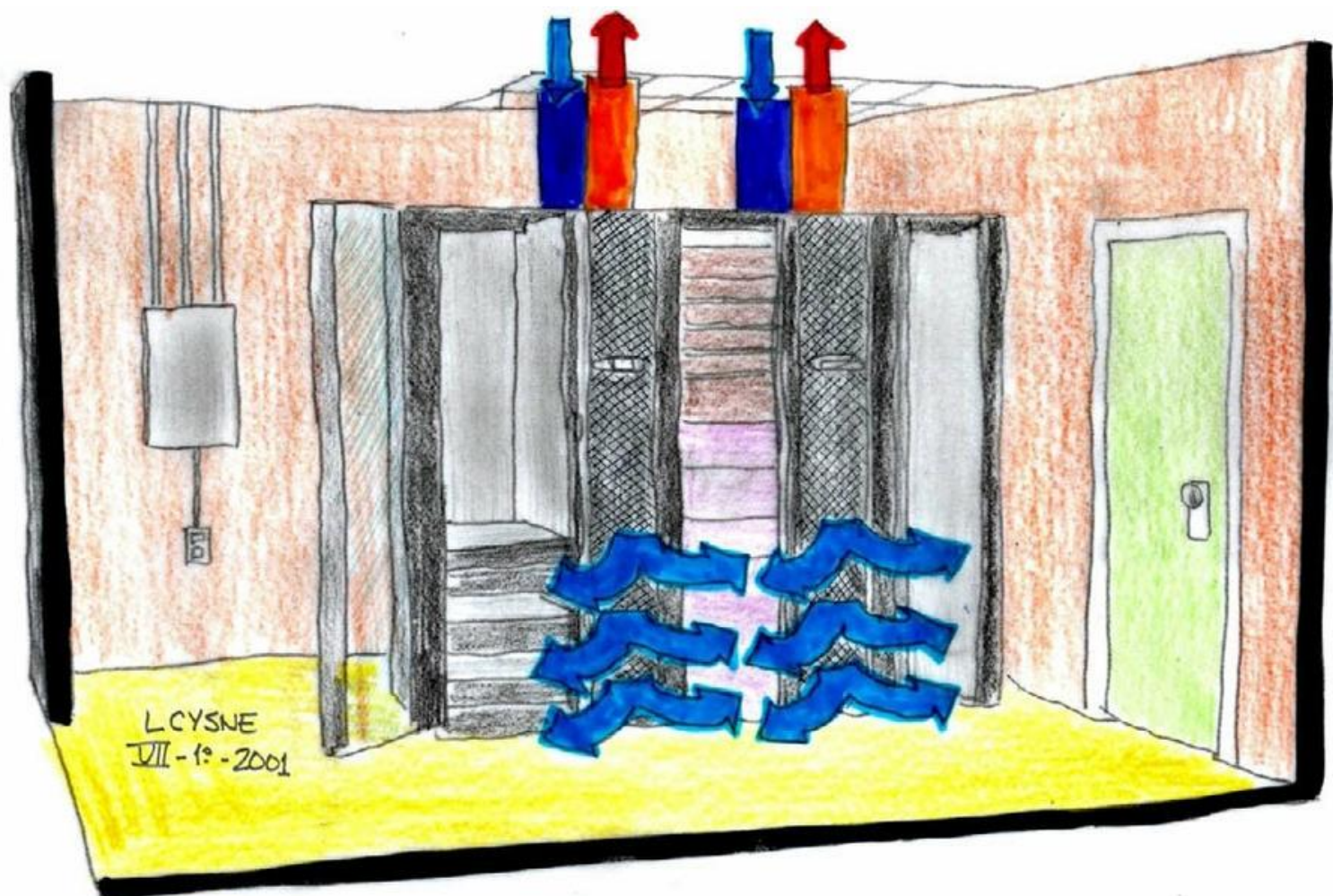


figura 6.171 ideia de como é a arquitetura da estratégia #72

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.171 mostra três racks de equipamentos e entre eles duas colunas para a descida de ar frio proveniente do sistema de condicionamento de ar. Aliás, diga-se de passagem que esse mesmo sistema de condicionamento de ar pode reduzir a temperatura média da sala através de grelhas de insuflação e de retorno espalhadas pela sala.

Deste ponto em diante vamos discutir estratégias nas quais o ar frio proveniente do sistema de condicionamento de ar é sempre trazido para o arrefecimento dos racks de equipamentos por baixo do piso da sala.

De fato, esse piso é elevado mediante uso de macaquinhos metálicos de altura adequada, que também tem a finalidade de criar o espaço necessário para os eletrodutos dos cabos do sistema de som profissional.

O ar frio que circula sob o piso pode ou não ser transportado por dutos para tanto projetados e construídos.

Pessoalmente, vejo no uso de dutos uma grande vantagem já que a perda de energia térmica por dispersão é reduzida a um mínimo. Especialmente se os dutos são revestidos com material

termoisolante.

Outrossim, por questões de simplificação visual os desenhos a seguir omitem a informação de uso ou não de dutos para o ar frio sob o piso.

estratégia #73 – base sala, uma fila A estratégia #73 é como sugere a figura 6.172.

Vemos apenas uma única fila com racks de equipamentos e o piso com suas grelhas de insuflação regularmente espalhadas pela área de piso.

Os racks são do tipo A da figura 6.146, o que requer amplificadores com aspiração frontal.

Invariavelmente recomendo que o sistema de ar condicionado seja suportado por projeto técnico criterioso, especialmente no que se refere ao cálculo da CT (Carga Térmica).

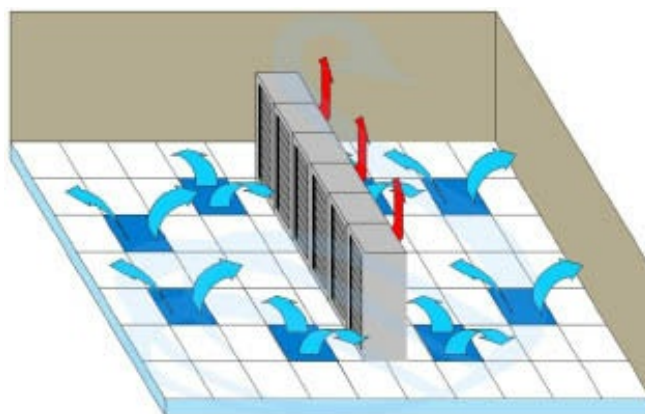


figura 6.172 montagem típica da estratégia #73

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #74 – base sala, duas ou mais filas Esta estratégia #74 é o desdobramento da estratégia #73. Agora, adaptada para sistemas de maior porte, com duas ou mais filas.

Veja a figura e observe que os sentidos dos racks de filas diferentes são opostos. Mais uma vez a configuração back-to-back.

Ou seja, costa a costa.

Porque? Com o único objetivo de apartar a área mais quente na sala, que obviamente é o espaço existente entre as duas filas de racks.

Portanto, as grelhas de retorno do sistema de condicionamento de ar devem ficar concentradas no forro, acima dessa área mais quente.

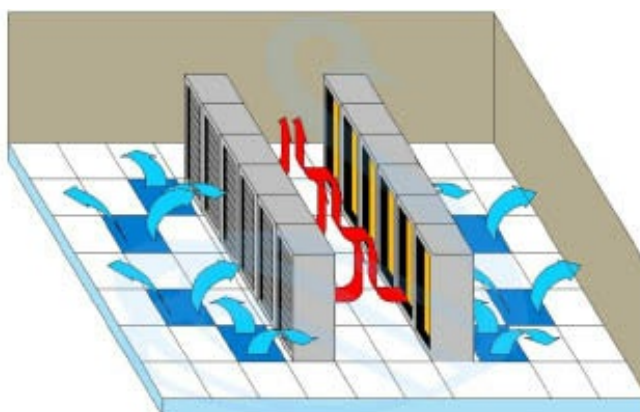


figura 6.173 montagem típica da estratégia #74

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #75 – base sala, uma fila e dois septos Vimos há pouco que o uso de duas filas possibilita que naturalmente se forme um espaço definido e apartado

entre as filas. Quando há uma só fila a contenção da área mais quente é um tanto ou quanto mais difícil.

Uma das maneiras de se obter a segmentação com elevado grau de hermetização é mediante emprego de septos.

Como na figura 6.174, que ilustra o esquema fundamental da estratégia #75.

A área mais quente ainda é a central. As outras duas, laterais, são as mais frias.

Evidentemente é preciso que haja mais ar drenado para a área fria lateral da direita na figura, já que é dessa região na qual os racks farão a aspiração desse mesmo ar frio.

Já a área fria do lado esquerdo da figura resfria o septo que a separa do resto da sala, de forma que esse septo resfriado ajuda a reduzir a temperatura da área mais quente.

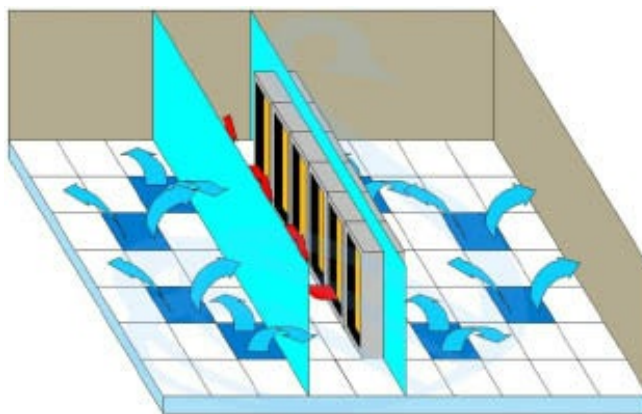


figura 6.174 montagem típica da estratégia #75

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #76 – base sala, duas filas e dois septos Veja a síntese da estratégia #76 na figura 6.175.

No caso dessa figura são duas filas de racks de equipamentos.

Todos os racks dessa figura devem ser do tipo A da figura 6.146.

Uma vez que se tenha duas filas é possível implantar dois septos sobre essas filas como mostra a figura na cor azul turquesa. Raciocínio análogo deve ser feito para sistemas de médio e de grande porte, caracterizadas por três ou mais filas de racks de equipamentos. Se quiser pensar na arquitetura de casos assim à guisa de exercício, pode prosseguir. É uma excelente maneira de praticar um tema pouco divulgado e muitas vezes simplesmente desconsiderado.

Essa é uma maneira simples e eficaz de isolar a área quente da sala.

O resultado é que a qualidade do arrefecimento torna-se muito alta, desde que o sistema de condicionamento de ar seja bem dimensionado para a missão que terá pela frente.

Importante lembrar que é imperativo que a hermetização do espaço com temperatura mais elevada na sala seja de excelente qualidade.

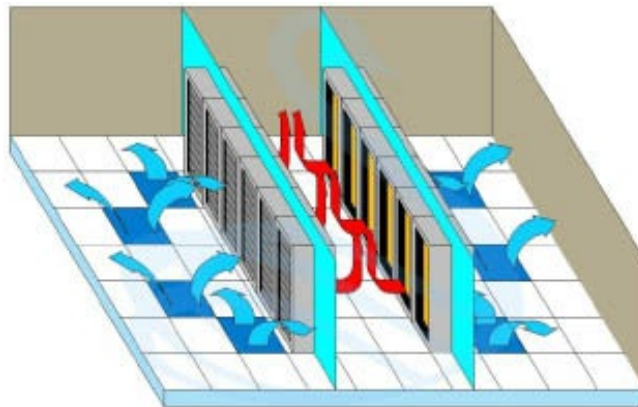


figura 6.175 montagem típica da estratégia #76
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #77 – base sala, uma fila, dois septos e
enclausuramento A estratégia #77 é um aperfeiçoamento da estratégia #75.

A diferença entre as duas estratégias é a adição de um fechamento horizontal cuja função é enclausurar a região mais quente da sala.

Portanto, podemos afirmar sem medo de errar que a ideia basilar desta estratégia é estabelecer o teto dedicado, montado entre os dois septos. A finalidade é enclausurar bastante a área quente da sala, que é sua região central. Teto e septos estão indicados na figura com a cor azul turquesa na figura. Os racks de equipamentos devem ser do tipo A da figura 6.176.

As paredes da sala perpendiculares aos septos podem favorecer a hermetização da região mais quente. Sabemos que nem sempre isso é possível. Neste caso, a hermetização pode ser complementada com chapas de vidro e, de preferência, com portas para acesso das equipes técnicas.

Deve estar claro para você que temos novamente a região com ar quente da sala totalmente isolada da sala propriamente dita. Já vimos antes que em casos similares tal aperfeiçoamento na segmentação da região com ar quente aumenta muito a eficiência do processo de arrefecimento.

As grelhas de retorno do sistema de ar condicionado devem estar concentradas no teto da região mais quente.

Como se percebe, o sistema de ar condicionado atende a sala em suas áreas laterais. Afinal, lá estão as grelhas de insuflação.

Mais uma vez o teto plano vedando a região com ar mais quente da sala pode assumir quaisquer formatos geométricos desejados, desde que permitam que a hermetização seja muito eficaz e que essa geometria realmente favoreça o escoamento do ar aquecido da sala.

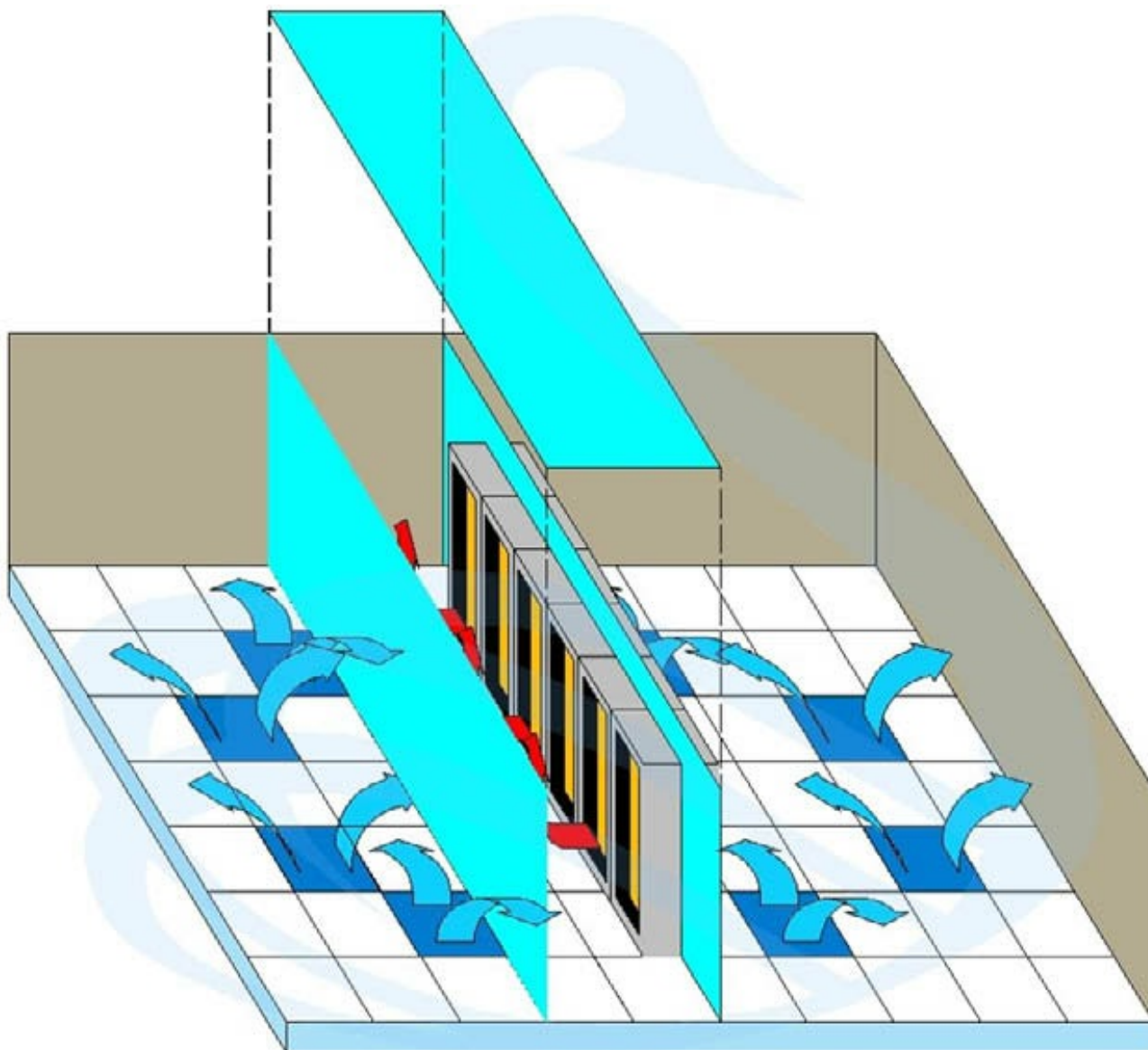


figura 6.176 montagem típica da estratégia #77
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #78 – base sala, duas filas com septos e coifa
enclausurando o espaço

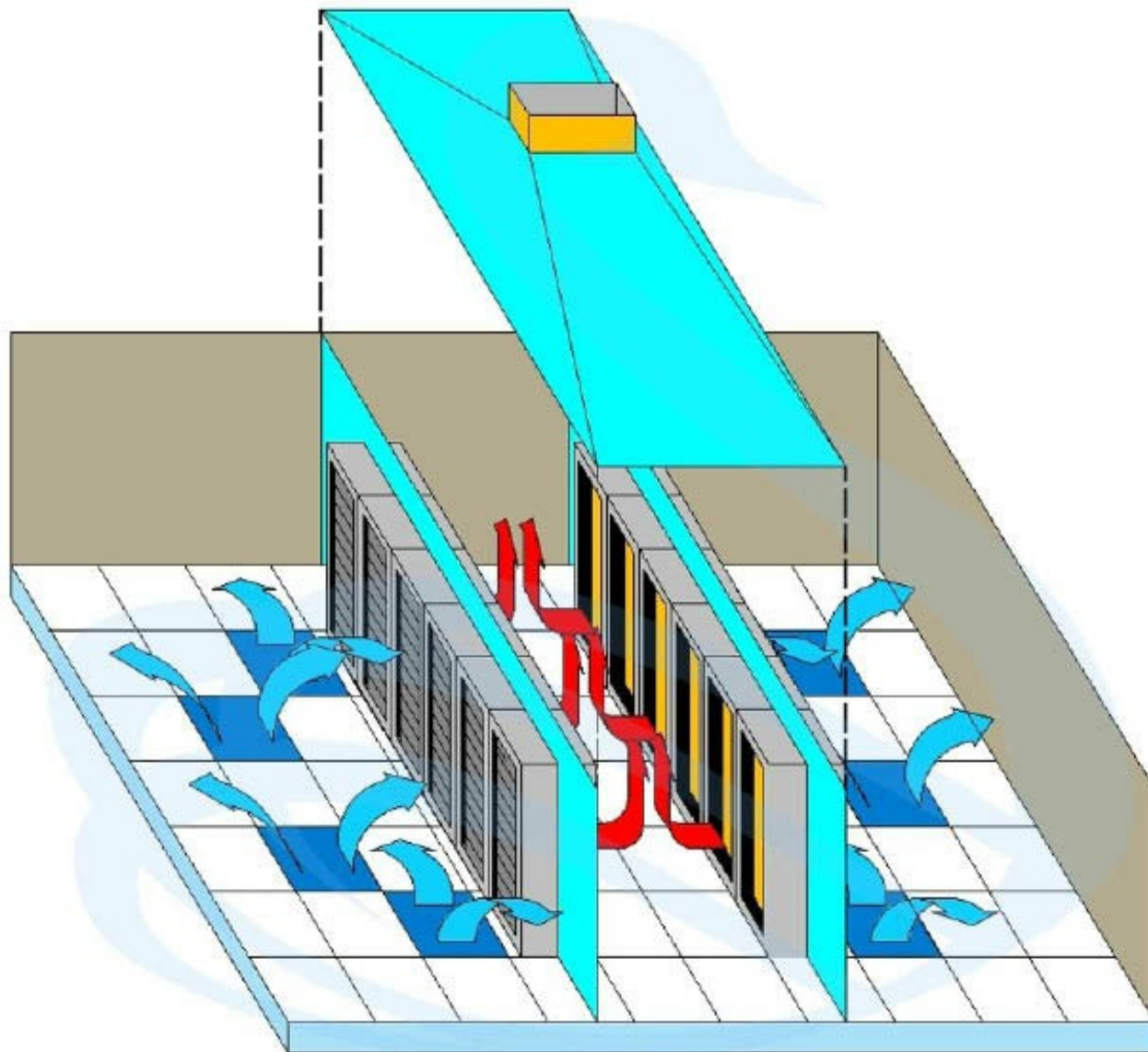


figura 6.177 montagem típica da estratégia #78

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja a montagem da estratégia #78 na figura 6.177.

Temos duas filas de racks de equipamentos, duas áreas laterais confinadas pelos dois septos verticais, ambas mantidas aproximadamente na temperatura ambiente, uma área central com ar mais quente e uma coifa gigante no lugar do teto entre esses dois septos.

Os racks têm a arquitetura A da figura 6.146.

É óbvio que a ideia principal aqui ainda é utilizar um teto sobre os septos. Já vimos também que as paredes da sala perpendiculares aos septos podem ser utilizadas para hermetizar a área com ar mais quente na sala. Também vimos que nem sempre isso é possível. E quando não for, quem sabe panos de vidro ou divisórias podem ser utilizadas para a obtenção do fechamento colimado. O acesso via portas em geral é indispensável.

A eficiência desse processo de arrefecimento de racks é muito elevada.

O teto tem a forma de uma coifa gigante. O que se faz para auxiliar o escoamento do ar quente da sala. Uma vez que esses parâmetros são tão sedutores, essa estratégia é muitas vezes recomendada para sistemas com grande quantidade de amplificadores, caracterizados por geração muito elevada de calor.

O sistema de condicionamento de ar pode ser dimensionado para produzir o ar frio aspirado por todos os racks de todas as filas, e mais o que é necessário para manter as áreas laterais em temperatura controlada. Essa medida ajuda a resfriar a área quente na parte central da sala, facilitando um pouco o processo de arrefecimento.

estratégia #79 – base sala, uma fila com exaustão dutada Veja a montagem física da estratégia #79 na figura 6.178.

Agora, os racks de equipamentos devem ser como o rack de equipamentos tipo B da figura 6.146.

Esta é mais uma estratégia com a marca típica de uma eficiência natural elevada.

Como estamos falando de uma única fila de equipamentos, a alternativa é indicada para sistemas de médio porte. Entretanto, especialmente para os que produzem quantidade de calor considerada de mediana a elevada.

Você já sabe que o principal motivo para essa eficiência tão decantada é precisamente a canalização do ar quente retirado por cima dos racks de equipamentos. Por isso, o revestimento dos dutos com materiais termoisolantes potencializa muito essa eficiência.

A tendência é que a temperatura da sala permaneça a mesma que seria com o sistema desligado, mesmo diante do calor total produzido nos racks de equipamentos. Porque? Porque agora não há mais região com ar quente na sala, exceto o interior dos racks de equipamentos e os dutos que portam esse ar quente, removendo-o da sala.

Engenhoso, não?

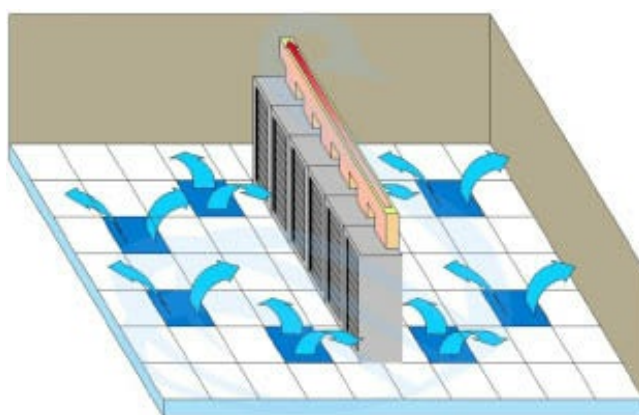


figura 6.178 montagem típica da estratégia #79

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #80 – base sala, duas filas com exaustão dutada
estratégia #80 é aquela esquematizada na figura 6.179.

Todos os racks de equipamentos ainda devem ser como o rack de equipamentos tipo B da figura 6.146.

Como fica claro na figura 6.179, a estratégia #80 é a versão da estratégia #79 ajustada para duas ou mais filas de racks de equipamentos.

Portanto, esta estratégia continua sendo caracterizada por eficiência natural muito elevada.

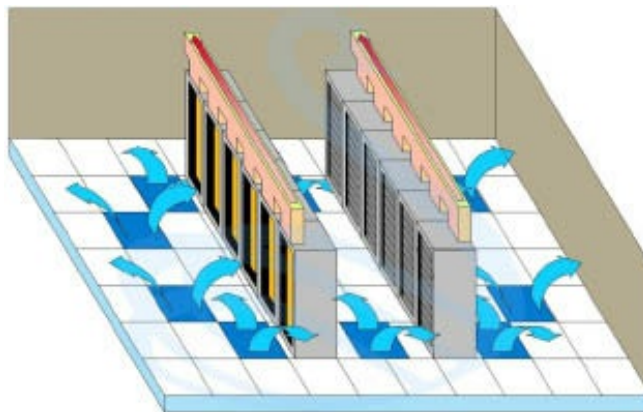


figura 6.179 montagem típica da estratégia #80
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Com duas ou mais filas a alternativa é própria para sistemas de grande porte com produção consideravelmente elevada de quantidade de calor.

Fica fácil concluir que a canalização do ar quente retirado por cima dos racks de equipamentos é o grande catalizador dessa eficiência. Também aqui potencializada pelo revestimento dos dutos com materiais termoisolantes.

Como na estratégia #79, a tendência ainda é que a temperatura da sala permaneça a mesma que seria com o sistema desligado. Isso, independentemente do calor total produzido nos racks de equipamentos.



figura 6.180 técnicas de acesso aos racks por ar frio trazido pelo piso acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nas estratégias que discutiremos a seguir o fluxo de ar frio proveniente do sistema de condicionamento de ar é invariavelmente encaminhado por baixo do piso elevado. O que pode ser feito com ou sem dutos específicos para canalizar o ar já refrigerado. A alternativa com dutos, especialmente quando eles são revestidos com material termoisolante, é sempre mais eficaz.

Entretanto, mesmo sem os dutos, o colchão de ar abaixo do piso – que então deve ser muito bem hermetizado - resfria o piso que, por sua vez, ajuda a reduzir a temperatura da sala.

A figura 6.180 mostra as duas técnicas mais comuns de acesso do ar frio aos racks.

No lado esquerdo da figura está a **TÉCNICA 1**, que é um arranjo indicando que o ar frio entra pela parte frontal inferior dos racks. O que significa que os amplificadores de aspiração frontal sugarão esse ar frio para promover o seu próprio arrefecimento. Então, o ar aquecido sairá por trás e por cima dos racks.

Do lado direito da figura está a **TÉCNICA 2**, outra situação, na qual o ar frio entra nos racks por sua parte inferior traseira. Então, os amplificadores de aspiração frontal sugarão o ar da sala, que tipicamente estará numa temperatura controlada, mas não tanto quanto no caso anterior, e farão a exaustão de ar aquecido por suas partes traseiras, já com temperatura bem

superior à do caso anterior.

É nesse momento exato que surge o ar frio proveniente do sistema de condicionamento de ar para remover o ar quente do interior do rack e, simultaneamente, reduzir sua temperatura.

Isto posto, vamos prosseguir.

estratégia #81 – base rack, uma fila com insuflação pelo piso

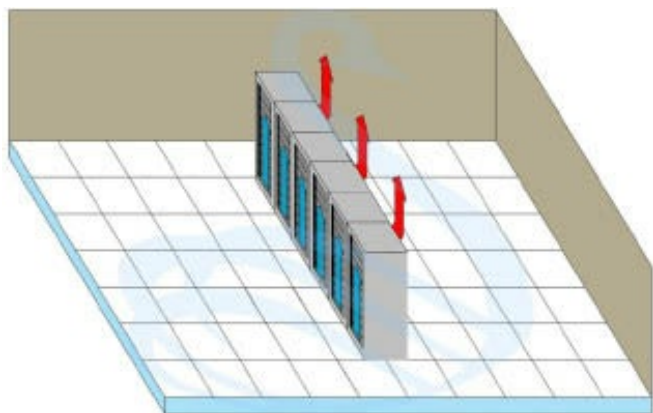


figura 6.181 montagem típica da estratégia #81

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.181 oferece uma visão geral muito realista do que é a estratégia #81.

Vemos seis racks organizados numa única fila. Esses racks são todos como os do tipo D da figura 6.146.

Portanto, a tomada de ar frio de todos os racks é feita pelas respectivas faces frontais que, na figura, estão do lado esquerdo dos racks. Então, o ar quente que deixa os racks sai pelas faces traseira. Na figura ao lado direito dos racks.

Pode-se ver na figura que o ar frio proveniente do sistema de condicionamento de ar vem pelo piso, com ou sem o auxílio de dutos, sendo que a insuflação é feita diretamente pelas partes mais baixas dos racks. Olhe na figura para entender o conceito.

Portanto, agora o direcionamento do ar frio é um parâmetro muito importante de vez que, então, o objetivo principal não é obter mais resfriamento homogêneo por toda a sala, mas sim injetar ar frio diretamente no rack. Neste caso é empregada a técnica 1 da figura 6.180. Logo, não só as correntes de convecção térmica são estimuladas, como também o ar frio é aspirado pelas ventoinhas dos amplificadores, realimentando o processo.

A figura não mostra, mas as grelhas de retorno do sistema de ar condicionado devem ficar concentradas no forro da sala, na região para onde apontam as setas vermelhas e adjacências, pois aí estará o caudal do ar quente proveniente dos racks com mais intensidade.

Aí estão as linhas gerais da estratégia #81.

estratégia #82 – base rack, duas filas com insuflação pelo piso

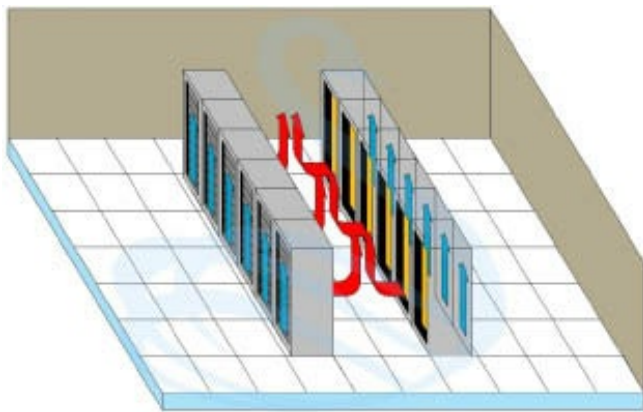


figura 6.182 montagem típica da estratégia #82

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #81 é a adequação da estratégia #80, agora aplicável a duas ou mais filas.

Veja a figura e observe que, mais uma vez, os racks estão em configuração back-to-back.

O objetivo continua sendo conter a área mais quente na sala, que obviamente é o espaço criado entre as duas filas de racks.

Portanto, as grelhas de retorno do sistema de condicionamento de ar devem ficar concentradas no forro, acima dessa área mais quente.

estratégia #83 – base rack, uma fila com um septo

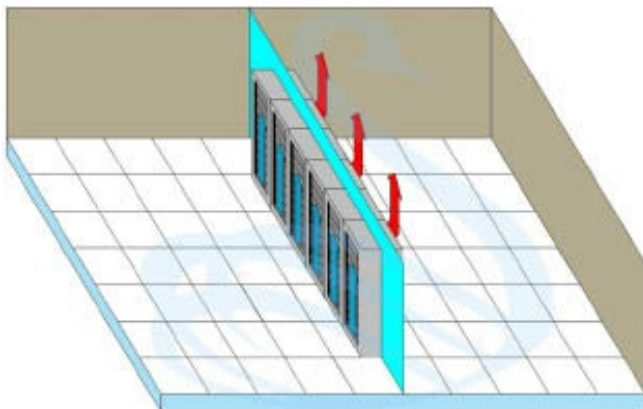


figura 6.183 montagem típica da estratégia #83

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esta é a primeira estratégia que você vê na qual é utilizado apenas um septo. E porque é assim? Porque um único septo é o suficiente para apartar a área com ar mais quente na sala. Que é a região que está à direita da fila de racks de equipamentos.

Veja os detalhes na figura 6.183.

Portanto, as grelhas de retorno do sistema de condicionamento de ar devem ficar concentradas no forro, acima da área mais quente.

Em casos como este tenho recomendado sistematicamente que se utilize de sistema de condicionamento de ar para reduzir a temperatura da região que não é a mais quente da sala. No caso da figura 6.183, o lado à esquerda da fila de racks de equipamentos e do septo.

estratégia #84 – base rack, duas filas com dois septos A estratégia #84 pode ser facilmente visualizada com o auxílio da figura 6.184.

Veja que agora estamos falando de duas filas. Um septo foi implementado em cada uma das

filas, totalizando dois septos. Indicados com cor azul turquesa na figura.

Fica claro que o espaço circunscrito pelos dois septos define exatamente a área com temperatura mais elevada na sala.

Sim, porque ela recebe todo o calor liberado por todos os racks de todas as filas.

Os racks de equipamentos ainda devem ser do tipo D da figura 6.146.

Então, as grelhas de retorno do sistema de ar condicionado devem ficar todas concentradas no forro sobre essa região mais quente.

Além do ar frio injetado diretamente nos racks de equipamentos e das grelhas de retorno mencionadas, o sistema de ar condicionado pode atender a sala em suas áreas laterais. Então, com grelhas de insuflação e de retorno.

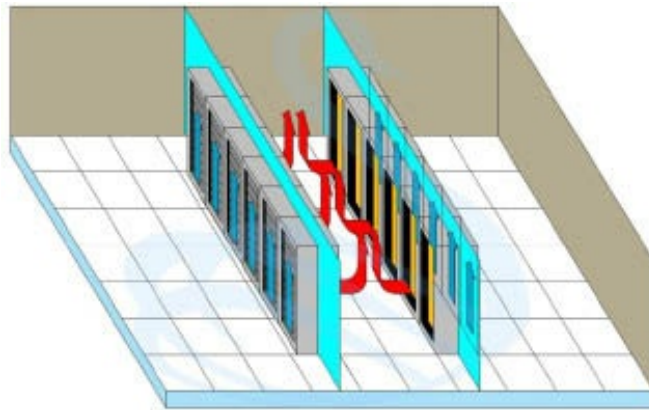


figura 6.184 montagem típica da estratégia #84

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #85 – base rack, uma filas com um septo e hermetização A estratégia #85 é a estratégia #83 que foi aperfeiçoada.

A diferença entre ambas é a implementação do fechamento horizontal, cuja função é enclausurar a região mais quente da sala.

Outra vez a intenção é estabelecer um teto dedicado, montado sobre a área mais quente com a funções de hermetização. Teto e septo estão indicados na figura com a cor azul turquesa.

Os racks de equipamentos devem ser do tipo D da figura 6.146.

As paredes da sala perpendiculares ao septo podem complementar a hermetização da região quente. Como sabemos que nem sempre isso será possível, também sabemos que a alternativa é a suplementação com lâminas de vidro. Sem esquecer as portas para acesso para o time técnico e outros.

Perceba que, mais uma vez, temos o espaço da sala com ar quente da sala totalmente confinado. Então, lembre-se que quando isso acontece, a eficiência do processo de arrefecimento aumenta muito.

As grelhas de retorno do sistema de ar condicionado ficam no teto da região mais quente.

Como vimos, o teto plano hermetizando a região com ar mais quente da sala pode ser moldado para que tenha formatos geométricos diferentes do plano. As condições das quais não se pode abrir mão são a hermetização muito eficiente e a facilidade de escoamento do ar

aquecido da sala.

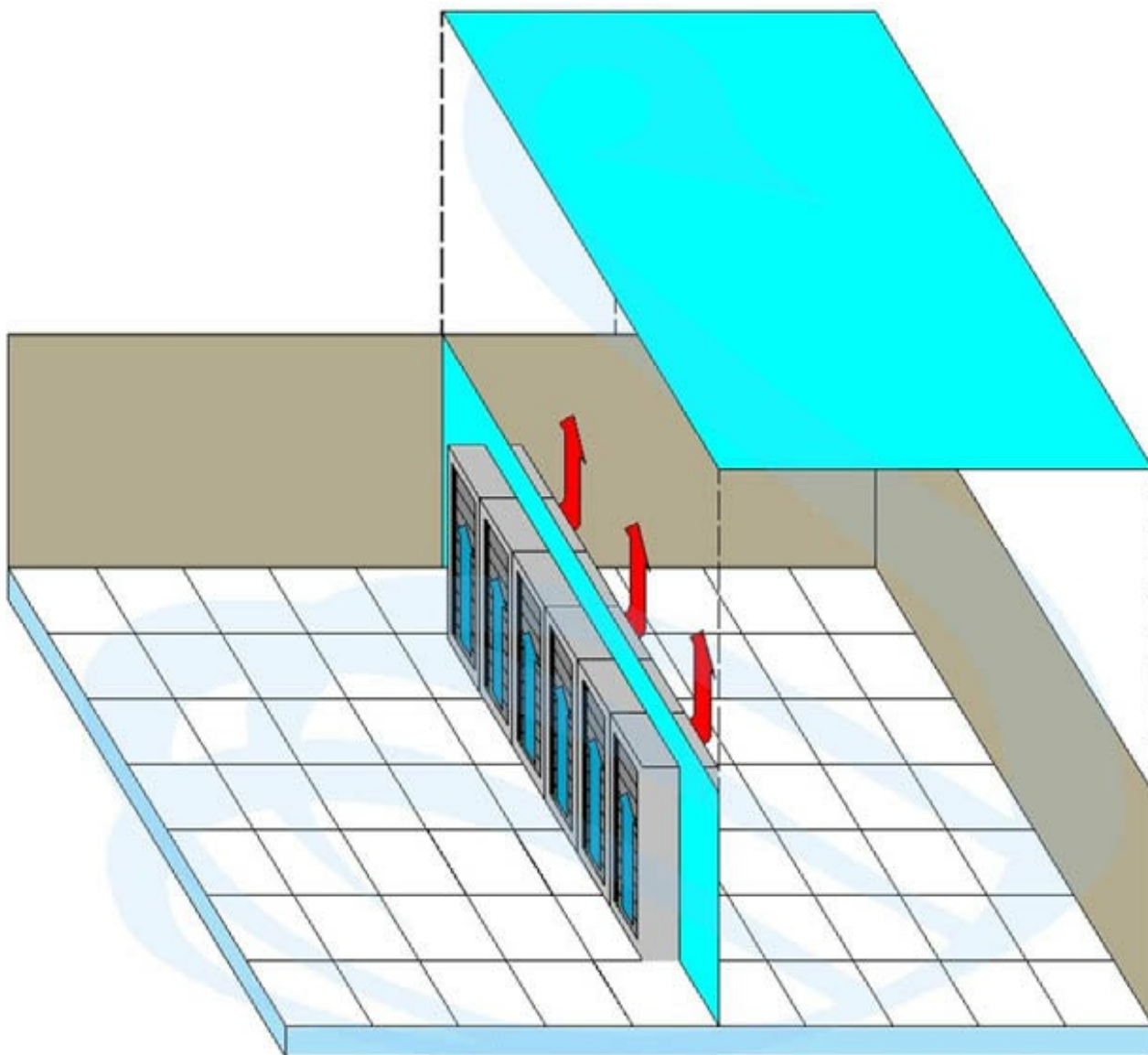


figura 6.185 montagem típica da estratégia #85
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #86 – base rack, duas filas com dois septos e
hermetização

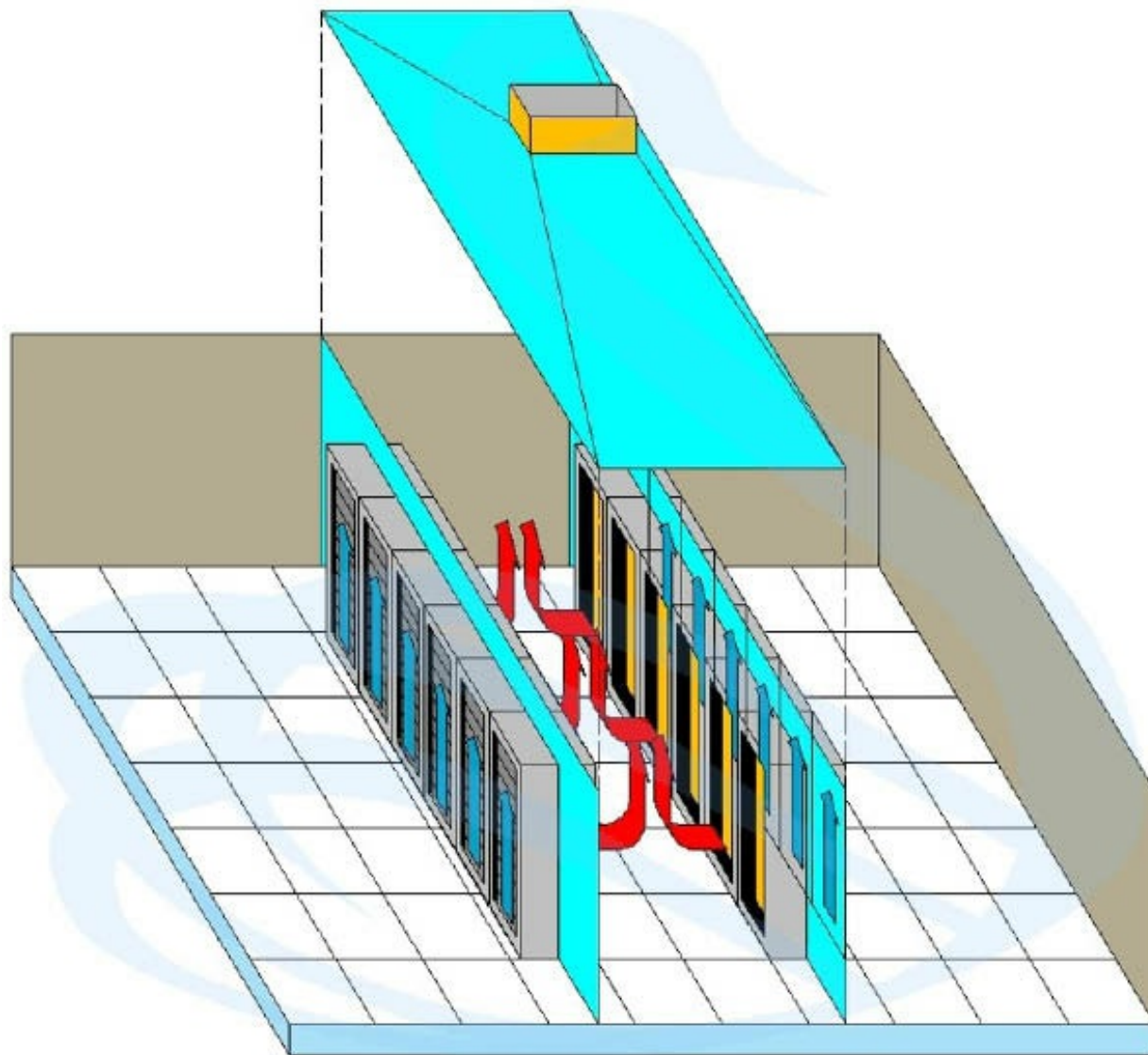


figura 6.186 montagem típica da estratégia #86

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja a montagem da estratégia #86 na figura 6.186.

Lá estão as indefectíveis duas filas de racks de equipamentos, duas áreas laterais confinadas pelos dois septos verticais, ambas mantidas aproximadamente na temperatura ambiente, uma área central com ar mais quente e a coifa gigante no lugar do teto entre esses dois septos.

Os racks têm arquitetura D da figura 6.146.

Portanto, ainda estamos almejando utilizar um teto sobre os septos. O propósito é enclausurar a área com ar mais quente na sala. Lembrete: por vezes isso simplesmente não é possível. Então, panos de vidro ou de outros materiais podem ser utilizados para o fechamento desejado. Portas asseguram o acesso de equipes técnicas.

A principal característica da estratégia #86 é a eficiência.

A coifa utilizada como teto facilita muito o escoamento do ar quente da sala. Tanto quanto uma coifa de cozinha convencional.

Esta é outra estratégia que vai bem em sistemas com grande quantidade de amplificadores e geração de grande quantidade de calor produzido.

O sistema de condicionamento de ar pode ser dimensionado apenas para produzir o ar frio

aspirado por todos os racks de todas as filas. Entretanto, gosto de recomendar sua aplicação para manter as áreas laterais em temperatura controlada.

Essa medida ajuda a resfriar a área quente na parte central da sala, facilitando um pouco o processo de arrefecimento.

estratégia #87 – base rack, uma fila com exaustão dutada

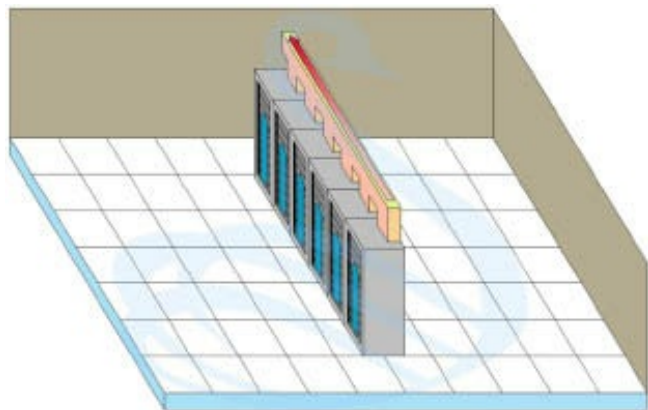


figura 6.187 montagem típica da estratégia #87

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A montagem clássica da estratégia #86 é o que esquematiza a figura 6.187.

Nesta configuração todos os racks de equipamentos devem ser como o rack de equipamentos tipo E da figura 6.146.

Os racks de equipamentos são alimentados por baixo e pela frente, como prescreve a técnica 1 da figura 6.180.

Como esse circuito fechado para a circulação do ar frio destinado ao arrefecimento dos racks, seguido de uma continuidade de circuito fechado, agora para o ar mais quente proveniente dos racks, esta estratégia é inerentemente uma fórmula lançada para elevar muito a eficiência natural do processo de arrefecimento térmico.

Mais uma vez estamos diante de uma estratégia caracterizada por fila única de rack de equipamentos. Mais uma vez esta é uma alternativa voltada para sistemas de médio porte. Principalmente daqueles que produzem quantidade de calor que pode ser avaliada como mediana ou elevada.

O revestimento dos dutos com materiais termoisolantes também potencializa bastante a eficiência antes mencionada.

A temperatura da sala tende a permanecer aquela que poderia ser aferida com o sistema desligado. Entretanto, mesmo com o calor produzido nos racks de equipamentos a temperatura tende a ser aproximadamente a mesma. O motivo é que não há circulação de ar quente pela sala, com as honrosas exceções do interior dos racks de equipamentos e dos dutos que portam o ar quente no caminho de sua remoção da sala.

estratégia #88 – base rack, duas filas com exaustão dutada A estratégia #88 é como

sugere a figura 6.188.

Todos os racks de equipamentos devem ser como o rack de equipamentos tipo E da figura 6.146.

Não é preciso muito esforço para perceber que a estratégia #88 é a versão da estratégia #87 para duas ou mais filas de racks de equipamentos.

Por via de consequências esta estratégia também tem como característica marcante a eficiência natural muito elevada.

Com duas ou mais filas esta alternativa é adequada para sistemas de grande porte com produção de quantidade de calor consideravelmente elevada.

A canalização do ar quente retirado por cima dos racks de equipamentos é a razão principal da eficiência mencionada.

Também nesta estratégia a eficiência é potencializada pelo revestimento dos dutos com materiais termoisolantes.

Como na estratégia #87, a tendência continua a ser da temperatura da sala permanecer a mesma que aquela que poderia ser aferida com o sistema desligado.

Sim, independentemente do calor gerado pelos aparelhos contidos nos racks de equipamentos.

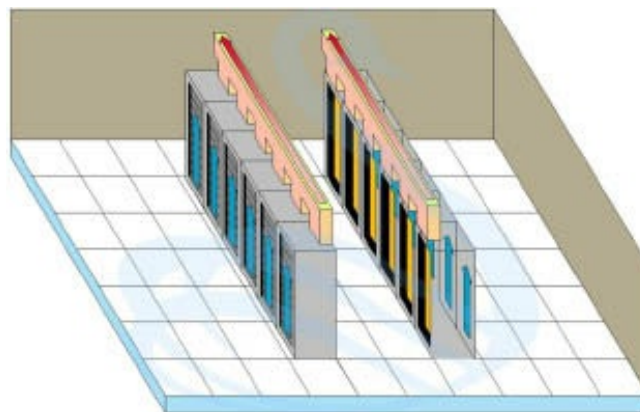


figura 6.188 montagem típica da estratégia #88

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #89 – base rack, uma fila com insuflação pelo piso A figura 6.189 esquematiza a montagem física da estratégia #89.

Aí estão seis racks numa fila única.

Atente para o detalhe que agora os racks de equipamentos são alimentados por baixo e por trás, como na técnica 2 da figura 6.180.

Por essa razão a tomada de ar frio de todos os racks é feita pelas respectivas faces traseiras que, na figura, estão do lado direito dos racks.

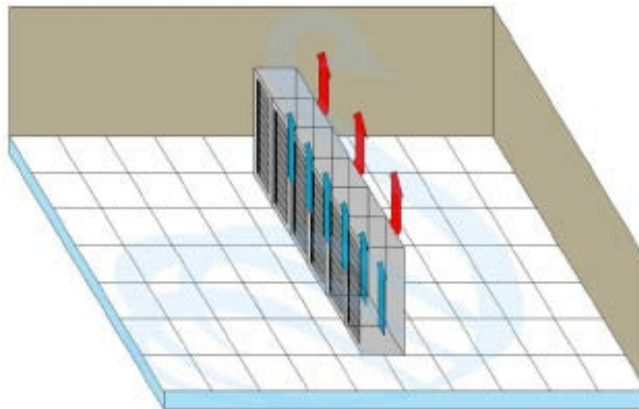


figura 6.189 montagem típica da estratégia #89
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O ar quente que deixa os racks também sai pelas faces
traseiras. Na figura, ao lado direito dos racks.

A figura mostra claramente que o ar frio proveniente do sistema de condicionamento de ar vem pelo piso, com ou sem o auxílio de dutos, sendo que a insuflação é feita diretamente pelas partes mais baixas dos racks.

Assim sendo, o direcionamento do ar frio é um parâmetro importante porque, agora e mais uma vez, o objetivo principal não é manter resfriamento homogêneo por toda a sala.

Ao contrário, o que se pretende com esta estratégia é injetar ar frio diretamente nos racks.

O ar com temperatura natural da sala continua a ser aspirado frontalmente pelos amplificadores. O ar quente por eles produzido e descartado na coluna traseira do racks de equipamentos, tenderá a subir rapidamente por convecção natural, deixando espaço para o ar frio lançado por baixo nos mesmos racks.

A figura não mostra as grelhas de retorno do sistema de ar condicionado.

Mas elas devem ficar concentradas no forro da sala, na região para onde apontam as setas vermelhas e vizinhança, pois aí estará o ar quente proveniente dos racks.

Essa é a visão geral da estratégia #89.

OK?

estratégia #90 – base rack, duas filas com insuflação pelo piso Como se percebe facilmente a estratégia #90 é uma variante da estratégia #89.

Certo. O ajuste foi feito para acomodar a operação com sistemas de maior porte, nos quais o leiaute inclui duas, três ou mais filas.

Veja na figura que os racks estão novamente em configuração back-to-back.

Claro que a ideia com esta estratégia é manter fisicamente contida a área mais quente na sala que, obviamente, é o espaço existente entre as duas filas de racks.

Portanto, as grelhas de retorno do sistema de condicionamento de ar devem estar concentradas no forro, acima dessa área mais quente.

Para melhor compreender a lógica desta estratégia, procure acompanhar o trajeto do ar que acaba circulando pela sala. Ele entra frio por baixo dos racks, cumpre seu papel retirando o

calor gerado pelos aparelhos e sobe canalizado para o sistema de condicionamento, onde será resfriado novamente.

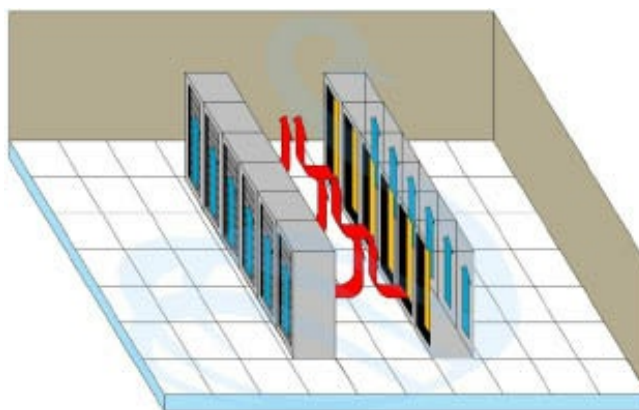


figura 6.190 montagem típica da estratégia #90

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #91 – base rack, uma fila com um septo Esta é a segunda estratégia na qual se utiliza apenas um septo. O motivo você já sabe. Isso mesmo, é porque esse septo é o suficiente para isolar a área com ar mais quente na sala. Que é a região que está à direita da fila de racks de equipamentos.

Veja os detalhes na figura 6.191.

É evidente que as grelhas de retorno do sistema de condicionamento de ar devem ficar concentradas no forro, acima da área mais quente.

É sempre uma grande vantagem que, nesta técnica, se utilize o sistema de condicionamento de ar para reduzir a temperatura da região que não é a mais quente da sala. No caso da figura 6.191, o lado à esquerda da fila de racks de equipamentos e do septo.

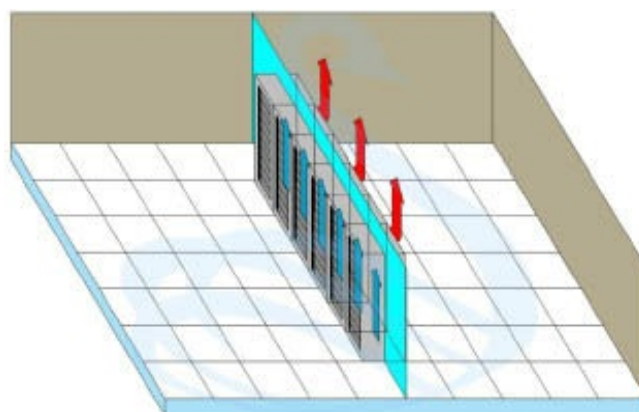


figura 6.191 montagem típica da estratégia #91

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #92 – base rack, duas filas com dois septos

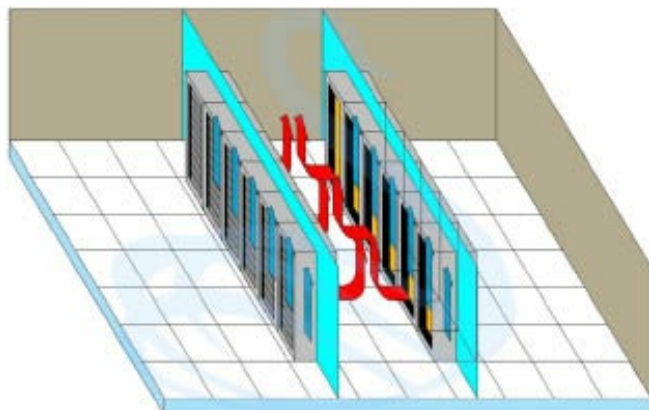


figura 6.192 montagem típica da estratégia #92

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A estratégia #92 é o que exhibe o esquema da figura 6.192.

Pois bem. Estamos falando de duas filas.

Foi implementado um septo em cada uma das filas, totalizando dois septos. Ambos indicados com cor azul turquesa na figura.

O espaço delimitado pelas duas filas e pelos dois septos define exatamente a área com temperatura mais elevada na sala.

Afinal, é para lá que segue todo o calor liberado pelos racks das duas filas.

A técnica de insuflação inferior ainda é a 2 da figura 6.180.

As grelhas de retorno do sistema de ar condicionado precisam estar concentradas no forro sobre essa região mais quente.

Mesmo com ar frio sendo injetado diretamente nos racks de equipamentos e apesar das grelhas de retorno mencionadas, o sistema de ar condicionado pode atender a sala em suas áreas laterais com grande vantagem para o processo de arrefecimento.

estratégia #93 – base rack, uma fila com um septo e hermetização A estratégia #93 corresponde a um avanço da estratégia #91.

Percebe-se que a única diferença entre ambas é a introdução do fechamento horizontal superior, cuja função é hermetizar a região mais quente da sala.

Também aqui a intenção é contar com os benefícios de um teto dedicado, montado sobre a área mais quente com funções de hermetização.

Teto e septo estão indicados na figura com a cor azul turquesa na figura.

A técnica de insuflação inferior continua a ser a 2 da figura 6.180.

As paredes da sala perpendiculares ao septo podem complementar a hermetização da região quente. Como nem sempre existe essa possibilidade prática, a alternativa mais à mão é o uso complementar de lâminas de vidro para o fechamento. Sem esquecer as portas para acesso do time técnico. Quaisquer outros materiais além do vidro podem ser usados.

Veja que também aqui temos o espaço da sala com ar quente totalmente isolado do restante da sala. Você sabe bem que quando isso acontece a eficiência do processo de arrefecimento aumenta muito.

As grelhas de retorno do sistema de ar condicionado ficam concentradas no teto da região mais quente.

Já vimos que o teto plano hermetizando a região com ar mais quente da sala pode ser construído de maneira que possa ter quaisquer formatos geométricos diferentes do plano. As condições a preservar são a hermetização competente e a facilidade para o melhor escoamento do ar aquecido da sala.

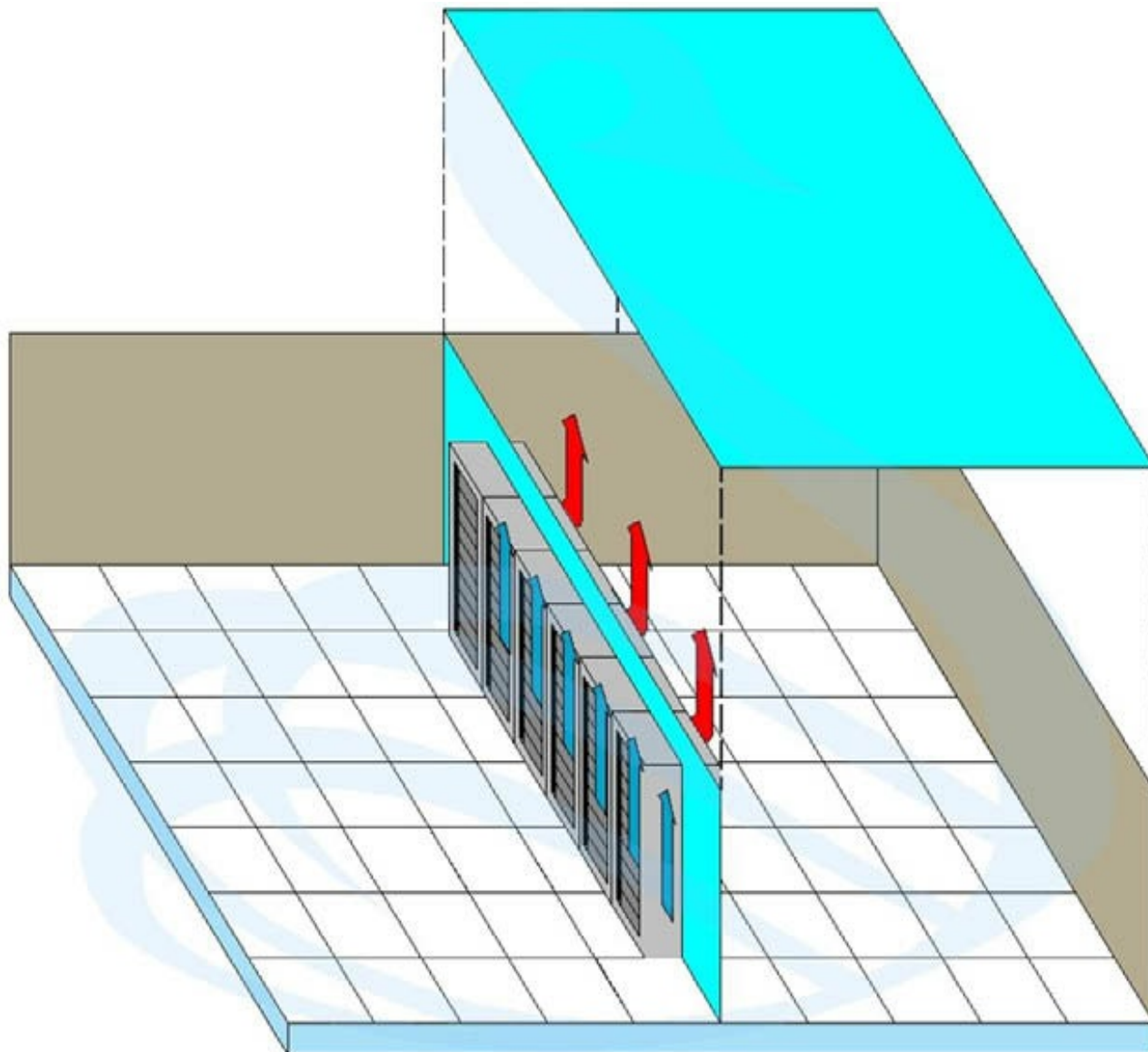


figura 6.193 montagem típica da estratégia #93
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne estratégia #94 – base rack, duas filas com dois septos e
hermetização com coifa

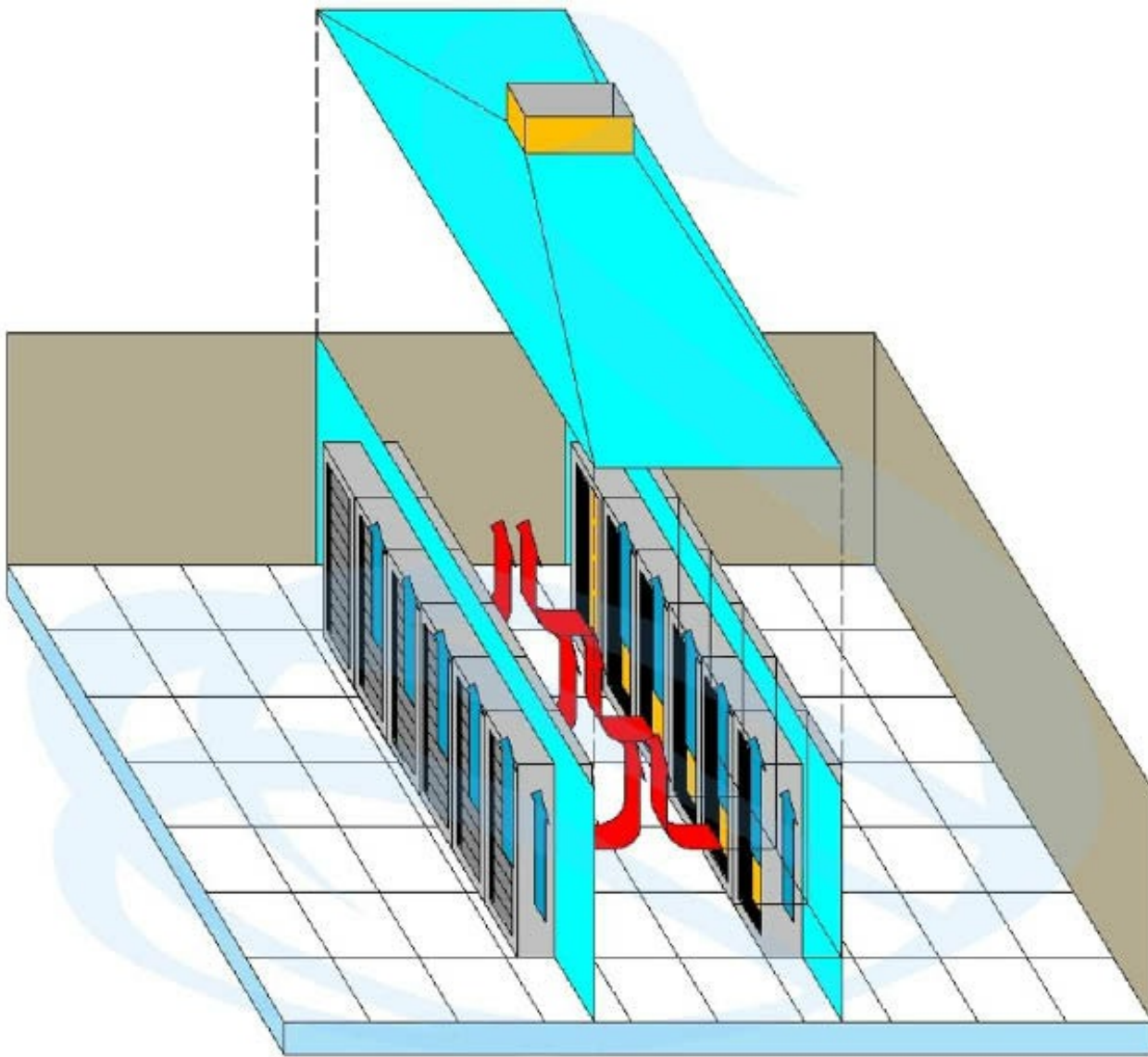


figura 6.194 montagem típica da estratégia #94

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.194 resume a montagem típica da estratégia #94.

Veja as duas filas de racks de equipamentos, as duas áreas laterais confinadas pelos dois septos verticais, ambas mantidas aproximadamente na temperatura ambiente, uma área central com ar mais quente e, acima, a coifa gigante fazendo as vezes de teto entre esses dois septos.

A técnica de insuflação inferior ainda é a 2 da figura 6.180.

A característica principal desta estratégia é a utilização do teto sobre os septos. O objetivo é hermetizar a área com ar mais quente na sala.

As paredes da sala perpendiculares aos septos ajudam com a aumentar a eficácia da hermetização. Se por qualquer motivo isso não for possível ainda resta a alternativa de fazer o fechamento de outra maneira, com outros materiais. A exemplo de panos de vidro e de materiais genéricos que, em princípio, podem ser utilizados para o tal fechamento. Não se pode esquecer de portas para permitir o acesso de profissionais de limpeza e de manutenção.

Uma das características mais notáveis da estratégia #94 é a eficiência.

A coifa é utilizada como teto para facilitar o escoamento do ar quente da sala. Da mesma forma que uma coifa convencional de cozinha canaliza o ar quente em ascensão mais a gordura

das frituras.

Isto posto, pode-se colocar que a estratégia #94 é adequada para sistemas com muitos amplificadores produzindo grande quantidade de calor.

O sistema de condicionamento de ar deve ser dimensionado para produzir o ar frio aspirado por todos os racks de todas as filas. Mas também é possível e até recomendável que sua aplicação seja exercitada para manter as áreas laterais em temperatura controlada. Por si só isso ajuda bastante a resfriar a área quente na parte central da sala.

6.8.7.10 O Método de Arrefecimento Utilizando Água Gelada para Um Grupo de Racks de Equipamentos estratégia #95 – arrefecimento direto no rack tipo 1

Veja a figura 6.195.

Ela mostra um dos produtos da família PowerLean fabricada pela Pentair Technical Products.

Com base em refrigeração por água gelada, há versões para 31 kW e para 52 kW, cada unidade, como a da figura.

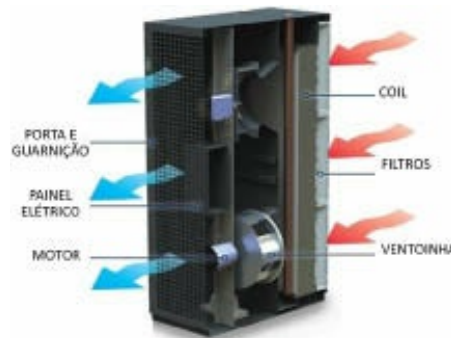


figura 6.195 unidade de refrigeração PowerLean da Pentair Technical Products cortesia Pentair Technical Products Estudos conduzidos com seriedade mostram que quando essas unidades são montadas para arrefecimento tipo “in rack”, a economia em energia pode atingir os 82%! Isso não chega a surpreender, já que a Pentair é uma tradicional empresa do ramo, habituada a projetar e construir uma ampla linha de produtos destinados ao arrefecimento de racks em condições críticas de produção de calor. Por sinal, condições que tipificam aparelhos com enorme concentração de componentes eletrônicos.

Portanto, a estratégia #95 consiste na montagem de unidades como as da figura 6.195 em racks, aproximadamente com a estrutura física proposta na figura 6.171.

A grande vantagem de todas as estratégias do Método de Arrefecimento Assistido por Condicionamento de Ar Preferência para Racks para Um Grupo de Racks de Equipamentos é que o projeto pode ser elaborado para atender de forma diferente racks com mais ou com menos necessidade de arrefecimento térmico.

estratégia #96 – arrefecimento direto no rack tipo 2

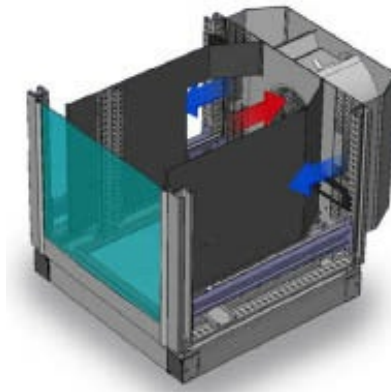


figura 6.196 rack equipado com solução de arrefecimento do Over IP Group cortesia Over IP Group A estratégia #96 é representada na figura 6.196. Ela mostra a parte inferior de um rack de equipamentos, em cuja porta traseira foi adaptado o sistema de arrefecimento do Over IP Group, que trabalha com água gelada e tem capacidade para 20 kW.

Esta solução também é do gênero orientado para os racks, mas evita a perda de espaço das peças instaladas entre racks, como na figura 6.171.

No caso de uma ou mais filas de racks de equipamentos, cada um deles deve sofrer a adaptação para que possa receber esta forma de arrefecimento.

6.8.7.11 Métodos Híbridos para Um Grupo de Racks de Equipamentos Métodos híbridos são quaisquer métodos de arrefecimento que combinem uma ou mais das estratégias discutidas até aqui.

Como já consumi um bom espaço com o assunto arrefecimento térmico de sistema profissionais de áudio, deixo para o caro leitor o exercício de pensar e propor fórmulas alternativas de combinar as estratégias das quais tratamos.

6.8.8 equipamentos para a Gerência Térmica O sucesso ou fracasso na implementação de quaisquer fórmulas destinadas a arrefecer o calor produzido pelos sistemas profissionais de áudio também depende, e em boa medida, de se contar com equipamentos e acessórios para a Gerência Térmica.

Sobre os equipamentos creio que falamos bastante. Sobre os acessórios ainda precisamos de uma pequena revisão.

É o que segue.

6.8.8.1 Racks

O projetista de qualquer sistema profissional de áudio deve conhecer bem os racks de equipamentos com os quais pode contar.

Creio que seria um exagero tentar tratar disso agora.

O fundamento disso já foi visto no capítulo 4.

Quem quiser complementar aquelas informações pode consultar os sites dos maiores

fabricantes de racks. Entre esses, recomendo os seguintes: **GKC** www.gkc.com.br

Middle Atlantic www.middleatlantic.com

Lowell www.lowellmfg.com

Procure conhecer os tipos de racks menos comuns. Ou seja, aqueles que fogem do padrão convencional 19”, autoportantes ou não, a exemplo de subracks de parede, como o da figura 6.197 e os racks de montagem em mesas, como os da figura 6.198.



figura 6.197 subrack de parede acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 6.198 racks montados em consoles e mesas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Além desses, vale a pena mencionar os racks basculantes, como o Lowell LWBR da figura 6.199. Esse tipo de rack pode ser montado em parede e ao bascular possibilita o acesso a todas as partes fixas que ficam no nível da parede e as “fixas”, que basculam com o rack.

Claro que estou mostrando um de muitos racks do mesmo gênero.

Há muitos fabricantes produzindo esse mesmo tipo de hardware, cada qual com suas próprias peculiaridades e acessórios.

Há racks semelhantes ao da figura 6.199, mas que ao invés de bascular lateralmente, ele pode ser projetado para a frente.

Há modelos que facilitam o acesso por sistemas mais complexos de ingresso aos

componentes, cabos e outros itens instalados nos racks.

O projetista deve tomar precauções com os cabos, no sentido de prever a mobilidade sem afetar sua integridade e, principalmente, dos conectores e, ainda, sem necessidade de desconectar nenhuma das ligações já feitas.



figura 6.199 rack basculante Lowell modelo LWBR

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há também racks de altura muito reduzida, próprios para montagem em baixo de mesas e de tampos em geral. Assim como há racks próprios para que sejam instalados no interior de credenzas.

Quem se der ao trabalho de procurar outros sites além dos mencionados vai encontrar uma grande quantidade de racks diferentes, projetados para diferentes aplicações. Encorajo a todos fazer isso porque muitos de nós não acompanha a velocidade com que os racks e seus acessórios evoluem.

6.8.8.2 Acessórios trilhos verticais de montagem com afastamento

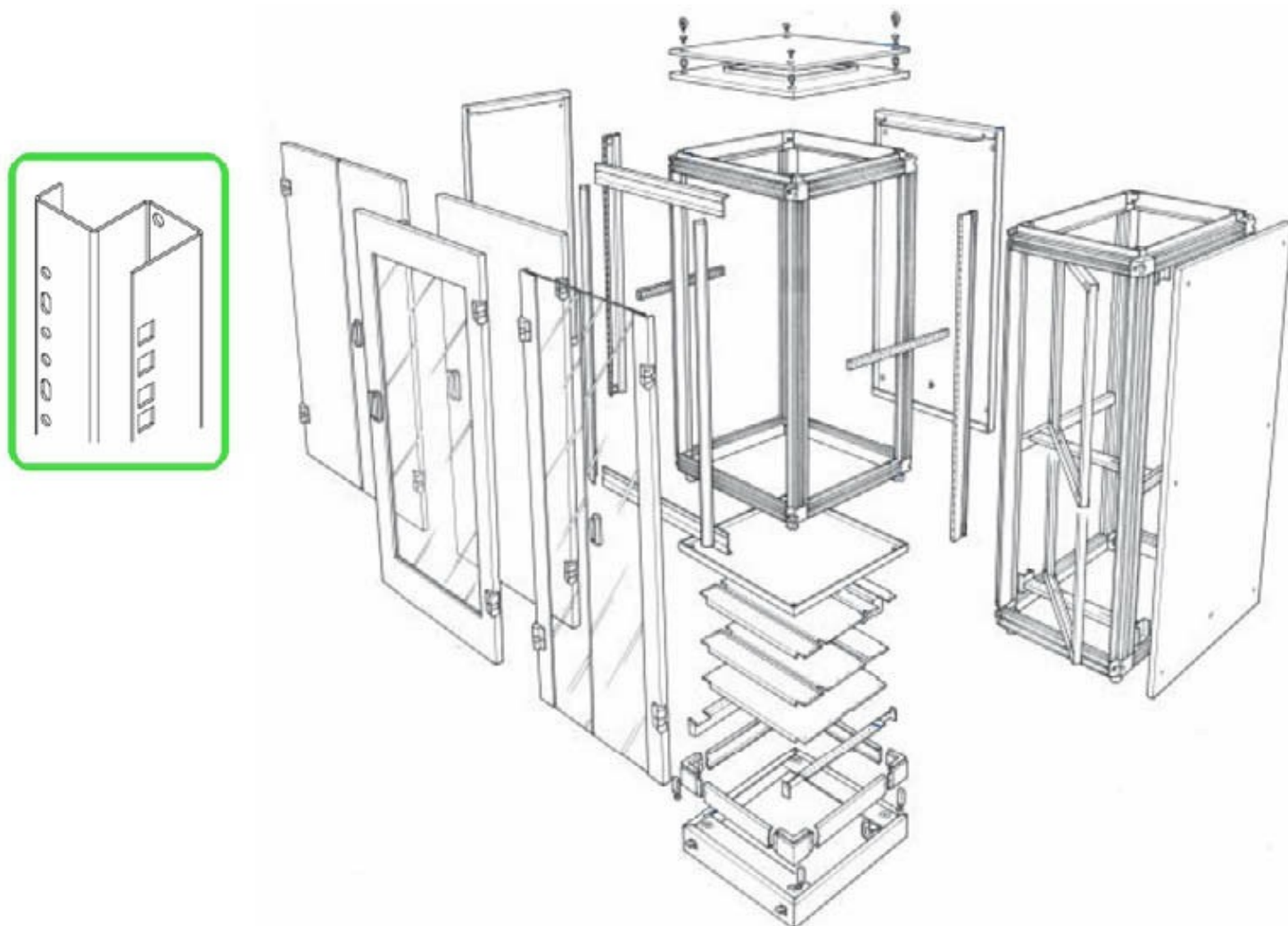


figura 6.200 corte explodido de rack metálico profissional, padrão 19 polegadas, e detalhe do perfil do trilho vertical de montagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os trilhos verticais de montagem, também chamados perfis verticais de aço perfurado, são os elementos nos quais os aparelhos são parafusados.

Muitos destes podem ser adquiridos como acessórios e fixados em locais que permitam ajustar a coluna frontal no rack, o que se faz para efeitos de arrefecimento e, também possibilitam ajustar o tamanho da coluna posterior dos racks, mais uma vez para efeito de arrefecimento térmico.

A figura 6.200 mostra o corte explodido de um rack padrão, com todas as suas partes individualizadas. Creio que isso facilita entender como os trilhos podem ser deslocados para frente ou para trás nos racks. O perfil típico dos trilhos é o que mostra o detalhe dentro do balão verde.

bases para racks com diversas alturas



figura 6.201 algumas bases diferentes para racks metálicos profissionais padrão 19 polegadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.201 mostra algumas das bases mais comuns comercializadas como acessórios para racks padrão 19 polegadas.

1 – base com ajustes de altura através de parafusos, 2 – base elevado com altura fixa (há algumas opções diferentes de alturas), 3 – base para racks duplos, 4 – base fixa cuja altura pode ser encomendada dentro das possibilidades do fabricante, 5 – base fixa convencional, 6 – base metálica formato I, recomendada para racks com peso elevado, 7 – base retangular com opções de altura e 8 – base retangular para sobreposição do rack de equipamentos.

venezianas, etc.



figura 6.202 venezianos e respiros variados acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As venezianas e aberturas para passagem de ar são fabricadas numa grande variedade de tamanhos e aplicações. Do lado esquerdo vemos alguns painéis padrão 19 polegadas com as perfurações típicas. À direita dos três painéis estão duas grelhas quadradas para aplicação em laterais e portas traseiras de racks de equipamentos. À direita das grelhas está um painel padrão 19 polegadas com 6 unidades rack de altura e, finalmente, do lado direito da figura duas grelhas para aplicação de sobreposição. Naturalmente há uma grande variedade de grelhas e aberturas disponíveis, que os interessados poderão pesquisar e encontrar com muita facilidade.

tapadeiras adesivas e de fixação mecânica

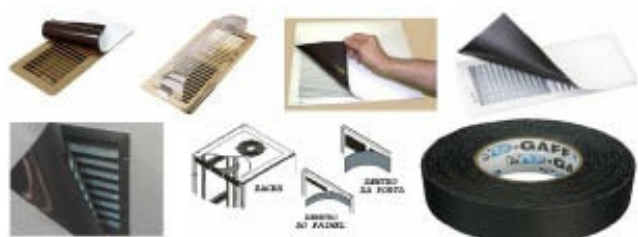


figura 6.203 tapadeiras adesivas e de fixação mecânica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como vimos de forma bastante convincente, nem sempre as grelhas e aberturas são bem vindas. Nesses casos uma das alternativas que temos é vedar a passagem de ar.

A figura 6.203 ilustra alguns tipos mais comuns de tapadeiras e bloqueadores de grelhas e de aberturas. Com efeito, esses dispositivos simples são uma das formas mais diretas que temos para bloquear a passagem de ar. Esses dispositivos podem ser substituídos por fitas adesivas, como a Gafer Tape da parte inferior direita da figura.

Veja que o segundo dispositivo da esquerda para a direita na parte superior da figura não é um bloqueio, mas uma das maneiras de dirigir o fluxo de ar para direções desejadas do espaço.

ventoinhas e ventiladores Creio que falamos o suficiente sobre ventoinhas e ventiladores ao longo deste texto.

Outrossim, a razão da inclusão desses dois tópicos mais uma vez é para lembrar que na maioria dos casos esses itens não são fornecidos pelos fabricantes de racks. O motivo principal é que usualmente se requer itens muito especializados, com características técnicas pouco comuns para os fabricantes de racks. A exemplo da elevada capacidade CFM.



**figura 6.204 coletânea de filtros de ar usados em sistemas de arrefecimento em áudio profissional
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como inúmeras vezes mencionado, a limpeza e/ou substituição
dos filtros de ar é importantíssimo para manter o sistema asseado e operacional, funcionando dentro
de suas características nominais.**

Portanto, tenha fácil com você uma relação dos fornecedores capazes de disponibilizar de imediato os filtros desejados.

Uma boa política de manutenção inclui um estoque estratégico de peças para substituição imediata. Sem dúvida, os filtros devem fazer parte desses estoques.

A eficiência típica de um filtro adequado para sistemas profissionais de áudio jamais é inferior a 99,5%.

Uma excelente opção é sempre por filtros HEPA (High Efficiency Particulate Arrestance).

Para consultas adicionais e mesmo para literatura complementar recomendo o site da Camfil, que é www.camfil.com.br

trocadores de calor Outro tópico do qual falamos muito nas linhas anteriores. Inclui o item novamente para informar que uma simples pesquisa na Internet terá como resposta uma grande quantidade de fabricantes de trocadores de calor para inúmeras aplicações. Vale a pena conferir.

portas traseiras programáveis Dependendo do fabricante de rack escolhido será ou não possível customizar as grelhas e aberturas nas tampas laterais dos racks e em suas portas frontal e traseira.

O que é uma grande vantagem e traz à reboque a economia de evitar perda de tempo em campo.

organizadores de cabos



figura 6.205 alguns organizadores de cabos para racks acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É verdade que os organizadores de cabos não têm relação direta com o assunto Gerência Térmica em racks. Mas o fato é que muitas vezes é preciso organizar o espaço para interno do rack, dividindo-o entre equipamentos, dispositivos em geral, acessórios, cabos e espaços e colunas verticais para as correntes de convecção. Nesse ponto exato os organizadores surgem com ferramentas para facilitar a obtenção desses espaços através da organização interna do rack.

Outro aspecto que está intimamente ligado com estes é a escolha dos racks certos, sem envolver riscos de pseudo economia com espaço para, depois, comprometer o arrefecimento térmico necessário justamente por falta de espaço.

O nome do jogo ainda continua sendo o planejamento.

6.9 INFRAESTRUTURA Quando nos referimos a sistemas eletroacústicos, o termo infraestrutura engloba o suprimento adequado de energia elétrica para o sistema, além da construção da rede de eletrodutos completa, destinada a abrigar os fios e cabos do sistema. Inclusive para os fios que conduzem a energia elétrica suprida.

Dada a importância dos dois tópicos mencionados, eles serão discutidos em capítulos específicos, como mencionado anteriormente.

6.10 DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO

Há basicamente duas maneiras de apresentar um projeto.

A forma europeia, e a forma americana.

Na primeira, o projeto é todo detalhado em desenhos.

Na segunda, além dos desenhos, é redigido um memorial técnico.

Nenhuma forma é intrinsecamente melhor ou pior do que a outra. É apenas uma questão de hábito. Na Cysne Sound Engineering damos preferência à forma americana. Julgamos que o memorial pode ser redigido de maneira a oferecer mais detalhes.

Por exemplo, o dimensionamento eletroacústico é de apresentação muito difícil em desenhos. E não gostamos de omiti-lo. Logo, o memorial parece ser mais adequado para

empresas que pretendem apresentar projetos mais detalhados.

Os desenhos devem se constituir num conjunto de informações necessárias e suficientes para que as equipes de campo possam instalar o sistema com plenitude de dados.

É óbvio que não há projeto no mundo que possa prever cada detalhezinho ínfimo e dizer como contornar cada dificuldade em campo. Mas todas as linhas gerais deverão estar solidamente definidas.

Se raciocinarmos em função dos projetos contendo memorial mais desenhos, estes são complementos que podem ser apresentados de modo muito objetivo. Num caso de projeto típico, os seguintes documentos são apresentados: 6.10.1 Materiais Acústicos Especiais e Detalhes de Montagem Não se pretende desenhar nesses documentos materiais existentes nas prateleiras das lojas especializadas. A ideia é desenhar itens customizados ou que não estão disponíveis no mercado, como painéis diafragmáticos, painéis perfurados, slats, difusores tipo QRD, portas e janelas acústicas e semiacústicas, amortecedores de máquinas, formas de desacoplamento acústico de pisos, paredes e forros, e assim por diante.

Desenhar os detalhes de montagem é tão importante quanto desenhar os detalhes construtivos dos materiais. E a razão é muito simples.

Os resultados obtidos com cada material dependem muito de como cada um deles é instalado.

Esses desenhos devem ser claros, e há algumas convenções em uso para mostrar materiais como fibra de vidro, madeira, gesso e outros. Elas podem ou não ser utilizadas. Recomendo que sejam.

Mesmo que algumas informações dos materiais tenham sido oferecidas no memorial, quando for o caso de sua utilização, é sempre conveniente repeti-las nos desenhos. Exemplo disso são as densidades das fibras ou lãs de vidro, espessuras de painéis, e outras no gênero.

6.10.2 Rede de Eletrodutos A rede de eletrodutos deve ser traçada sempre sobre desenhos arquitetônicos, em escala. Indicam-se os eletrodutos de quaisquer tipos (aí incluídas eletrocalhas, esteiras e outros), caixas terminais, de passagem, de derivação, de manobra e quaisquer outras.

É fundamental indicar que eletrodutos correm pelas paredes, e a que alturas, os que devem ser instalados sobre o forro, sob o piso, e mesmo os aparentes. Além disso, recomendo que cada caixa seja individualmente identificada por qualquer critério ou convenção. Todos os eletrodutos devem ser especificados quanto ao tipo e quanto aos diâmetros (tubos) ou larguras e alturas (eletrocalhas). O mesmo prevalece para todas as caixas.

Quaisquer detalhes devem ser claramente indicados nos desenhos. Uma vez que esta é uma

etapa de fácil execução, mas nem sempre efetuada pelos profissionais do áudio, é imperativo que os desenhos não sejam poluídos, o que evita enganos.

Para evitar a poluição os desenhos principais podem ser complementados com desenhos de detalhes, como por exemplo onde se quer os furos de caixas especiais para o acesso dos eletrodutos, ou como se quer o acabamento de caixas que estarão no mesmo nível de pisos ou paredes.

Sempre que necessário, deve ser elaborado um desenho específico de como será a infraestrutura na cabine técnica. Uma vez que esse é o centro nervoso do sistema, o grau de complicação pode variar consideravelmente de projeto para projeto. Na dúvida, faça o desenho.

Bons desenhos conduzem a bons resultados. Veja um desses no exemplo da figura 6.206, que é uma tomada de um dos muitos auditórios do complexo do Centro de Eventos Ribeirão Shopping, em Ribeirão Preto.



figura 6.206 infraestrutura construída de acordo com projeto do engº Luiz Fernando O. Cysne num dos auditórios do complexo do Centro de Eventos Ribeirão Shopping acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 6.10.3 Localizações e Orientações das Caixas Acústicas A plataforma para as informações de localização e de orientação de cada caixa acústica são os desenhos arquitetônicos. Sobre eles são desenhadas as caixas acústicas, sempre em escala. Desenhos de detalhes geralmente se fazem necessários.

Devemos mostrar não só as localizações exatas das caixas, mas toda sua orientação espacial. O que requer que informemos os ângulos zenitais e azimutais de direcionamento. E quando for o caso, os ângulos de “tilt”, que são os ângulos de giro das caixas sobre seus próprios eixos principais.

A melhor maneira de apresentar esses desenhos é com vistas complementares. Isto é, vista superior, ou planta, corte transversal e corte longitudinal.

Todos as caixas acústicas devem ser indicadas.

Detalhes como formas de fixação podem estar incluídos nos mesmos desenhos, ou fazer parte de um conjunto de desenhos que contenham apenas estes detalhes.

6.10.4 Diagrama de Blocos O diagrama de blocos é o desenho que discutimos com detalhes no item 6.5 anterior. Ele pode ser apresentado em sua forma convencional, ou em forma pictorial, como exemplifica a figura 6.67.

6.10.5 Diagramas de Identificação de Cabos Em quaisquer casos, e em sistemas de quaisquer portes, todos os cabos devem ser convenientemente identificados. Nos sistemas menores, com poucos cabos, o melhor é seguir uma sequência numérica direta.

Em sistemas de grande porte, formados por subsistemas diferentes, é sempre conveniente utilizar uma forma que permita distinguir os cabos de um subsistema dos demais. Isso é possível se usarmos códigos alfanuméricos, ou outras convenções semelhantes.

Nos menores sistemas, as identificações dos cabos podem constar do próprio diagrama de blocos.

Mas isso é de obtenção relativamente difícil nos maiores sistemas, onde mapeamentos específicos podem ser apresentados em forma de tabelas.

Essas identificações, imaginadas na etapa de projeto, deverão ser rigorosamente observadas em campo.

6.10.6 Diagramas de Cabeações Complementares Os diagramas tratados no item anterior são aplicáveis aos cabos de interligação entre aparelhos do sistema. É sempre conveniente que tenhamos diagramas separados para todos os demais, como a fiação de energia, a fiação reserva, fios e cabos de controle, e casos especiais, como cabos de extensão para microfones, chicotes extensivos, e até mesmo detalhes de campos de jaques com seus cordões.

Não só esses fios e cabos devem ser identificados, como também devemos mostrar todas as formas de utilizá-los.

6.10.7 Diagramas de Fiação ou Diagramas de Encaminhamento Estes desenhos devem mostrar claramente quais são os caminhos seguidos por todos os fios, cabos avulsos ou grupos deles, que façam parte do sistema. Devemos indicar por quais eletrodutos passam os cabos, de modo que nenhum deles seja exceção.

Essa é a única maneira de informar correta e precisamente as equipes de campo, que assim saberão por onde passar cada um dos cabos do sistema.

Informações adicionais sobre as terminações dos fios e cabos em blocos, tanto na origem quanto no destino, além de pontos intermediários de inspeção, de derivação, e outros, devem ser dadas nestes desenhos.

6.10.8 Detalhes de Conectorização

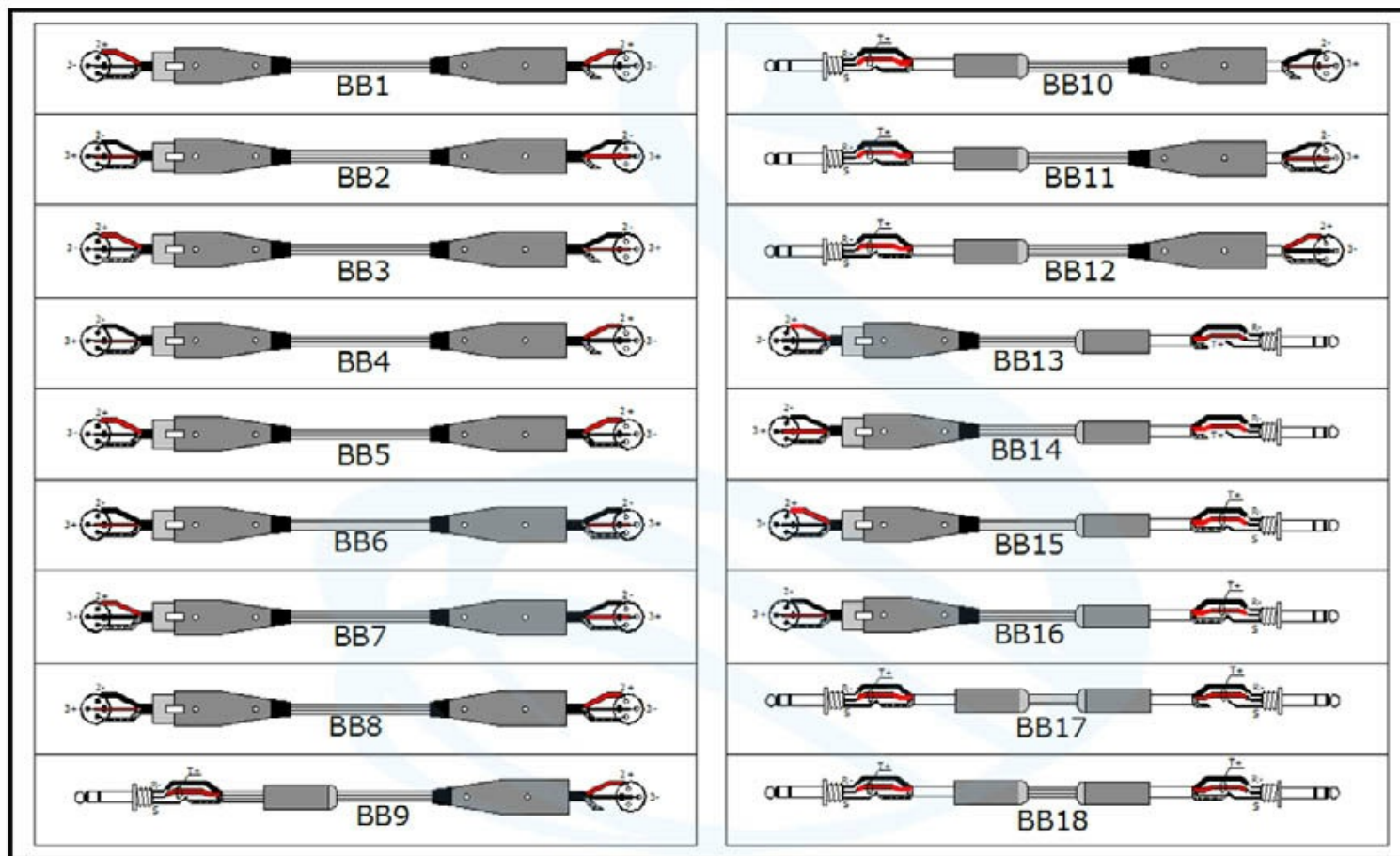


figura 6.207 desenho com diferentes tipos de cabos (ligação balanceada para balanceada) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Num bom projeto, todos os diferentes tipos de cabos utilizados no sistema são desenhados. Nesses desenhos, as informações devem incluir os conectores das duas extremidades, sendo que as respectivas pinagens devem ficar claramente identificadas.

Uma forma inteligente de fazer isso de maneira simples, e sem perda de tempo, é desenhar todos os diferentes tipos de cabos de um dado sistema. A seguir, relaciona-se numa tabela cada cabo designado com o desenho que lhe corresponde.

Um exemplo de como podem ser feitos os desenho contendo diversos tipos de cabos é que nos mostra a figura 6.207.

6.10.9 Diagramas de Aterramento de Sistema Diagramas de aterramento de sistema são apenas uma indicação simbólica de como estarão interligados todos os condutores de aterramento do sistema. Todos os detalhes podem e devem ser apresentados com suficiência de dados, para que não haja dúvidas em campo.

Os desenhos devem mostrar onde os condutores terra de cada um dos aparelhos são aterrados. Devem ser desenhados todos os detalhes das barras de aterramento utilizadas nos bastidores e fora deles, além de detalhes de como os condutores terra são elétrica e mecanicamente ligados nas barras, e onde são ligadas as barras.

As bitolas e trajetos dos condutores de aterramento devem ser claramente especificadas.

6.10.10 Planos de Face de Bastidores

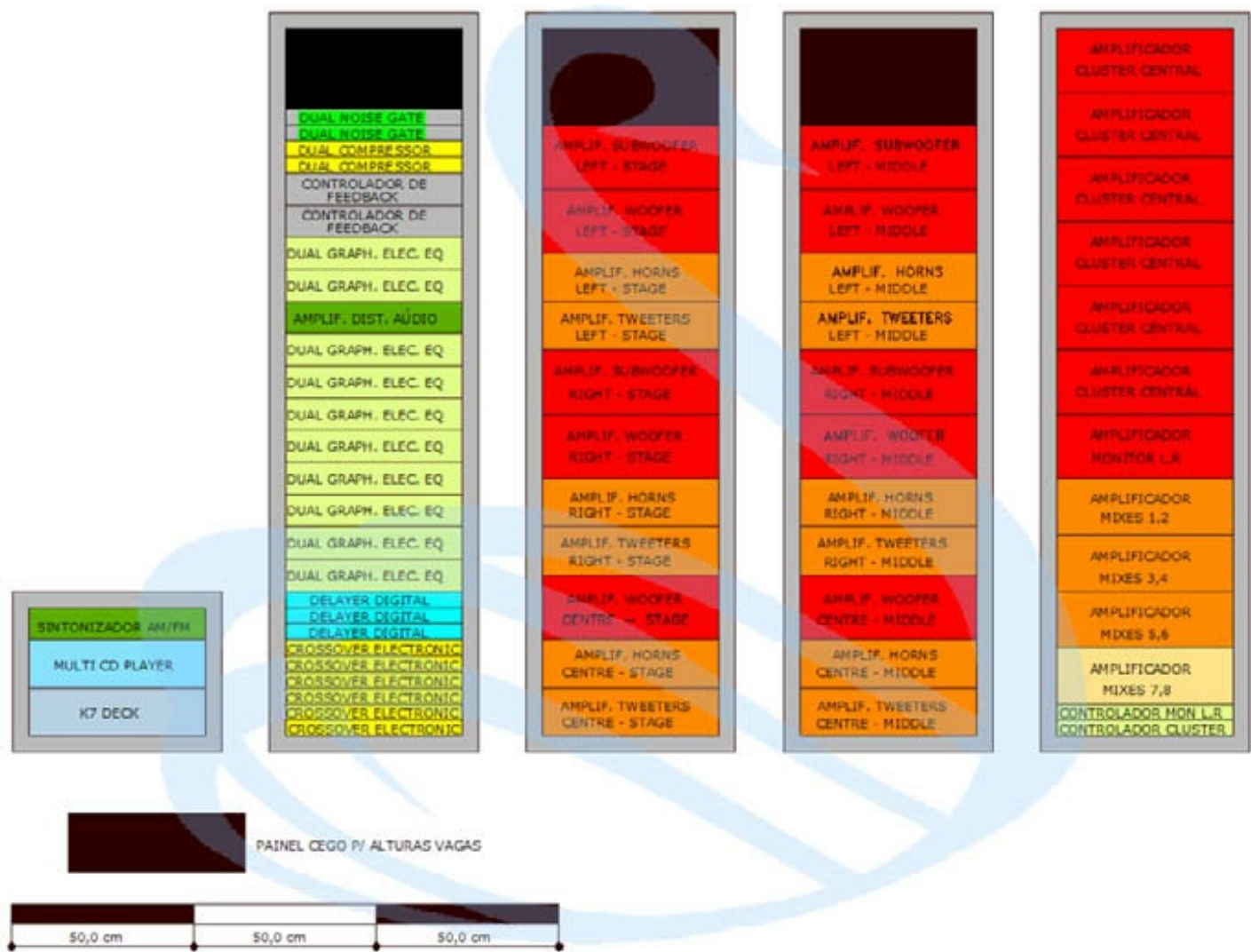


figura 6.208 plano de face dos bastidores de um sistema acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Todos os bastidores do sistema deverão ser desenhados em escala, com sua vista frontal. Para cada bastidor devemos mostrar as posições dos aparelhos lá contidos. Devemos observar uma ordem lógica para isso, e sempre que possível utilizar bastidores só para amplificadores de potência, e outros só para processadores de sinal.

Todos os espaços vagos, quer por reserva propositadamente estabelecida para o futuro, quer porque há sobra natural de espaço, devem ser claramente indicados. Os desenhos também devem informar se queremos ou não painéis cegos de acabamento nas alturas não utilizadas.

A figura 6.208 exemplifica como podem ser desenhados os planos de face.

6.10.11 Leiautes de Cabines Técnicas Como disse antes, este é o centro nervoso de praticamente qualquer sistema.

Os leiautes devem mostrar as posições dos bastidores, as localizações de todos os móveis que serão utilizados, inclusive a mesa sobre a qual ficarão os mixers, as localizações e orientações espaciais das caixas acústicas monitoras, a posição do quadro de força, quando for o caso, as localizações de todas as caixas infraestruturas de saída e terminais, detalhes de infraestrutura, além das indicações dos trajetos de todos os fios e cabos.

Este é o desenho onde podem ser previstos detalhes importantes, como se queremos ou não janelas com folhas de vidro, suas alturas e tamanhos, pontos de iluminação, orientações e

interruptores, e tudo o mais que fizer parte do sistema.

Idealmente, os desenhos são apresentados em vista superior e tantos cortes quantos forem necessários para o bom entendimento do conjunto.

6.10.12 Detalhes de Montagem Este é um conjunto de desenhos que pode variar consideravelmente em quantidade de pranchas, em função do grau de detalhes que se quer desenhar.

Recomendo que sejam desenhados todos os detalhes possíveis, com a máxima profusão de informações. Isso se aplica a montagens mecânicas em geral, inclusive dos aparelhos nos bastidores, fixações mecânicas de todos os tipos, e das caixas acústicas em especial, detalhes de caixas de infraestrutura, particularmente das caixas de saída de cabos, das caixas para entrada de cabos de microfones, e de todas as caixas cujos espelhos contenham conectores.

Neste caso, convém fazer desenhos individuais de cada espelho diferente, se possível em escala 1:1.

Além disso, os desenhos devem conter dados adicionais complementares, como informações dimensionais, dados a serem utilizados para a gravação de letras em etiquetas informativas, ou a serem gravadas nos próprios espelhos, materiais dos espelhos, bitolas de cabos de aço, quando for o caso, e outros.

6.11 ORGANIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE PROJETO

Com base na expressiva experiência em projetos que a Cysne Sound Engineering logrou acumular em quase quatro décadas de atividade, apresento a seguir um guia para a organização genérica de projetos eletroacústicos.

Não pretendo que essa sequência seja uma receita de bolo a ser cegamente observada. Ao contrário, penso nela como tão somente como uma orientação geral, que poderá e deverá ser modificada de caso para caso, observadas as conveniências e circunstâncias específicas de cada situação.

Principalmente em função da profundidade de projeto convencionada entre cliente e projetista, natureza do sistema projetado, e características da empresa projetista.

6.11.1 Seção 1 - Destino do Sistema Nesta seção pode ser informado o local para o qual o sistema se destina. Todas as áreas que se quer atender com o sistema devem ser individualmente relacionadas.

Quaisquer aspectos relevantes relacionados com cobertura acústica e detalhes do gênero devem ser observados com o grau de detalhes que o bom senso recomendar.

Informações gerais como localizações de cabines técnicas, estúdios, almoxarifados, e outros, também fazem parte desta seção.

6.11.2 Seção 2 - Funções do Sistema Aqui devem ser relacionadas, uma a uma, todas as funções desejadas do sistema.

O que significa que cliente e projetista já devem estar plenamente de acordo sobre elas.

O projetista deve discutir o tempo que for necessário com o cliente, examinando cada possível função, e as consequências de tê-las e de não tê-las incorporadas ao sistema a ser projetado.

Algumas vezes, razões econômicas determinam que se faça a previsão em projeto de funções que só serão incorporadas mais tarde. O que o projetista deve entender. E tratar seu projeto de acordo.

Entretanto, é nesta seção que todas essas funções que inicialmente não farão parte do sistema devem estar relacionadas, para controle futuro. Tanto do projetista quanto do cliente.

Não se deve economizar papel para descrever cada uma das funções. Pelo contrário, elas deverão ser suficientemente detalhadas para que qualquer um, ao ler suas descrições, saiba exatamente o que elas significam.

6.11.3 Seção 3 - Especificações de Desempenho Sistemas que apresentam resultados insatisfatórios são apenas o reflexo da falta de obtenção prática de especificações adequadas de desempenho, ou ainda, cujos padrões de especificação tenham sido previamente estabelecidos abaixo do que é aceitável.

Evidentemente, implantar sistemas sem que se tenha previsto as correspondentes especificações de desempenho, é concluir a instalação e rezar para que tudo dê certo. Mas geralmente não dá. Porque a engenharia que poderia ter sido o suporte foi simplesmente ignorada.

Logo, as especificações de desempenho definitivamente estabelecem o padrão de qualidade de qualquer sistema eletroacústico.

As figuras consideradas adequadas pela Cysne Sound Engineering são figuras internacionalmente recomendadas, e por isso mesmo largamente empregadas por inúmeras empresas projetistas de todo o mundo.

Exemplos dessas especificações são o grau de inteligibilidade da palavra e a homogeneidade de distribuição do campo acústico.

6.11.4 Seção 4 - Acústica A partir das dimensões físicas de cada recinto, de suas características geométricas, além dos diversos materiais de acabamento utilizados, deve ser

desenvolvido todo um estudo de acústica arquitetônica, e se preciso o correspondente projeto, visando a obtenção de: • nível de ruído interno adequado • redução de formação de ondas estacionárias detrimenais • tempo de reverberação (RT60) compatível com o volume interno físico do recinto e principais atividades previstas para ele Quando necessário, medidas corretivas devem ser propostas e apresentadas de forma detalhada.

6.11.5 Seção 5 - Quantidade e Localização de Caixas Acústicas Como vimos, este é um ponto crítico em qualquer projeto eletroacústico.

A fim de assegurar a correta cobertura acústica para toda a área a ser atendida, as determinações de quantidade, localizações e orientações das caixas acústicas devem ser elaboradas em conjunto com a escolha dos tipos correspondentes.

Numa etapa preliminar, são examinadas tantas alternativas quantas se mostrem tecnicamente viáveis. Cada uma destas alternativas deve estar sempre baseada em critérios científicos, e não em tentativas.

A seguir, cada alternativa é individualmente analisada, especialmente quanto aos respectivos resultados que irão produzir. Essas análises são efetuadas por processos manuais, em muitos casos com estudos feitos a partir de modelos construídos em escala, e também, por meio de computadores e programas específicos, a exemplo de alguns que veremos no item 6.11.

Finalmente, todas as alternativas são comparadas entre si, e uma delas é eleita como aquela a ser utilizada no projeto.

A escolha é determinada não só em função de seus resultados sônicos, mas também, por critérios econômicos, confiabilidade, valores estéticos informados pelo cliente, grau de dificuldade de implantação, segurança física, facilidade operacional, facilidade para futuras manutenções, e assim por diante.

Os desenhos devem mostrar claramente onde serão instaladas as caixas, com que orientações, e todos os demais dados pertinentes. Quando o projeto incluir diferentes alternativas de quantidades e localizações, os desenhos também deverão abranger essas opções.

6.11.6 Seção 6 - Dimensionamento Eletroacústico Uma vez definidas as quantidades e localizações das caixas acústicas, e as quantidades e localizações de microfones simultaneamente abertos, também já estão automaticamente definidas as principais distâncias, relevantes do ponto de vista de engenharia de áudio.

Entre elas estão D_0 (distância entre orador e o ouvinte mais afastado dele), D_1 (menor

distância entre qualquer microfone e qualquer caixa acústica), D_2 (maior distância entre qualquer caixa acústica e qualquer ouvinte), D_C (distância crítica), e D_L (distância limite).

A partir dessas distâncias, e de outros parâmetros definidos nesta mesma etapa, como D_S (distância entre boca do orador e microfone), como o nível médio de programa desejado, a margem de segurança para realimentação, a sensibilidade axial das caixas acústicas, e outros, é desenvolvido o dimensionamento. Suas principais funções são assegurar a obtenção de:

- grau aceitável de inteligibilidade da palavra
- mínimo Q (relação de diretividade) de cada sonofletor
- relação campo direto/campo reverberante adequada
- controle de microfonia
- comparação de NAG (ganho acústico necessário) com PAG (ganho acústico potencial)
- potência elétrica necessária por caixa acústica
- menor investimento possível, consistente com a maximização de desempenho e operacionalização

6.11.7 Seção 7 - Infraestrutura Esta seção é dedicada à completa definição da infraestrutura necessária, incluindo:

- rede de eletrodutos, caixas de saída, terminais, de passagem, de manobra e de inspeção
- energia CA necessária, e de que maneira deve ser suprida
- aterramento elétrico desejado
- consumo elétrico máximo previsto para o sistema

6.11.8 Seção 8 - Serviços Todos os serviços previstos em projeto devem ser relacionados nesta seção.

Cada atividade deve ser individualmente mencionada, qualificada e especificada em termos de engenharia.

Exemplos delas são: montagens mecânicas, lançamento e puxamento de cabos, interligações elétricas, aterramento do sistema eletroacústico, testes, alinhamentos mecânico e eletroacústico do sistema, e treinamento.

Nos projetos mais sofisticados o projetista menciona as normas que devem ser observadas durante a realização dos serviços.

6.11.9 Seção 9 - Documentação Técnica Esta seção detalha a documentação técnica a ser provida pela empresa instaladora. Para sistemas de grande porte, a documentação pode ser dividida em quatro partes:

- manual de operações
- manual de manutenção (preventiva e corretiva)
- projeto como construído (“as built ”), e
- caderno de medidas

6.11.10 Seção 10 - Especificações Qualitativas de Equipamentos e Materiais As especificações devem ser completas e detalhadas.

Sugiro que cada equipamento, cada aparelho e cada material seja individualmente especificado. Utilizar uma ou mais páginas para a especificação de cada item possibilita formar uma espécie de biblioteca de especificações diferentes, que podem ser utilizadas em outros projetos. Basta que os dados sejam atualizados periodicamente.

Idealmente, cada equipamento, aparelho e material deve ser associado a um número de

item, utilizado posteriormente nas especificações quantitativas.

A apresentação dessas especificações pode ser feita com a seguinte organização:
ACÚSTICA

- cada material de acabamento ou de redução de nível de ruído interno é individualmente especificado. Quando necessário, desenhos adicionais são fornecidos elevados níveis de pressão sonora projetados a grandes distâncias
- INFRAESTRUTURA**
- eletrodutos
- caixas
- pertences

SISTEMA ELETROACÚSTICO

- eletrônica
 - acústica (microfones, sonofletores e correlatos)
 - ferragens
 - fios e cabos
 - miscelânea de instalação (conectores, bornes, etc.)
- 6.11.11 Seção 11 - Especificações Quantitativas de Equipamentos e Materiais Trata-se de uma relação que pode ser apresentada de qualquer maneira prática. Pessoalmente prefiro uma forma semelhante à da tabela 6.9.

Os preços podem ou não constar de projeto, e assim, das tabelas.

De qualquer modo, os campos para preços devem ser previstos, ainda uso posterior do cliente.

É recomendável que as tabelas sejam divididas como no item 6.10.10.

Os itens à esquerda da tabela devem ser os mesmos que os associados aos equipamentos e materiais indicados na especificação qualitativa, como discutido em 6.10.10.

tabela 6.9

ITEM	PREÇO UNITÁRIO R\$	QTDE	PREÇO TOTAL R\$	NOTAS
01	1.100,00	03	3.300,00	
02	320,00	12	3.840,00	
03	500,00	25	12.500,00	
04	3.000,00	01	3.000,00	
05	6,00	12	72,00	
PREÇO GLOBAL			22.712,00	

6.11.12 Seção 12 - Descrição Técnica do Sistema O sistema projetado deve ser descrito com detalhes, de modo que suas características principais tornem-se claras e evidentes. Os

principais aspectos operacionais também devem ser descritos.

6.11.13 Seção 13 - Desenhos e Formas de Apresentação do Projeto Os desenhos de projeto devem incluir ao menos aqueles discutidos no item 6.9 anterior.

No caso da Cysne Sound Engineering, todos os projetos são apresentados aos clientes em duas versões: papel e eletrônica (disquetes).

Cada versão é entregue em três ou quatro vias.

6.12 SOFTWARE DISPONÍVEL

O software que vamos discutir neste trecho do trabalho não inclui o gênero especificamente dedicado à produção e tratamento da música, a exemplo do Calkewalk, do Sound Forge, do Sonar, do Vegas, do Acid, do Reason, do Fruit Loop, do ProTools e de tantos e tantos outros. Nosso objetivo agora é focar apenas o material relacionado de perto com a engenharia de áudio.

Muito antes da informática começar a ensaiar seus primeiros passos os projetistas de áudio profissional já tinham desenvolvido o hábito salutar de modelar os espaços que trabalhavam com o objetivo de fazer investigações eletroacústicas. Para que isso fosse possível eram construídas maquetes físicas em escala de 1:32. Os falantes ou clusters eram simulados por lâmpadas miniaturizadas condicionadas em pequenos compartimentos. Estes eram dotados de janelinhas que podiam correr horizontal e verticalmente, de modo a poder simular quaisquer ângulos de cobertura nos planos horizontal e vertical.

A partir dessa técnica de modelamento era possível simular e estudar inúmeras hipóteses e condições de coberturas acústicas e de reflexões, o que produzia dados suficientes para que fossem antecipados com elevado grau de confiabilidade padrões de homogeneidade de campo acústico, graus de inteligibilidade e vários outros parâmetros importantes do ponto de vista de projeto. A acuidade desse processo era aceitável. Sua grande desvantagem era o enorme volume de trabalho gerado, com o consequente custo, incrivelmente elevado.

Com a chegada da informática o processo foi sendo paulatinamente transferido das pranchetas e das oficinas para os computadores. A parte mais visada de início foram os cálculos. E assim o tempo de trabalho empregado foi sendo pouco a pouco diminuído. E graças a isso as simulações podiam ser mais e mais aprofundadas, de forma cada vez mais fácil. Contudo, a capacidade computacional moderada das primeiras máquinas era de fato um fator que limitava as pretensões das mentes mais criativas. Essas limitações eram muito inconvenientes porque os preços da época eram muito elevados se comparados aos padrões de hoje.

Com o passar dos anos foram surgindo mais e mais ferramentas, enquanto seus preços nem sempre caíam a cada nova edição. As necessidades colocadas pelo mercado, os anseios determinados pelos projetistas e pelas empresas especializadas, manifestações de segmentos da comunidade científica, requisitos informados pelos integradores de sistemas e tantos outros indicadores, foram estabelecendo os caminhos que deviam ser seguidos pelos escritórios especializados em software e pelos profissionais que passaram a se dedicar à tarefa de criar programas.

Neste ponto recomendo uma parada imediata seguida de um salto estratégico para o apêndice H, onde fazemos uma pequena discussão sobre FFT, a Fast Fourier Transform. Mesmo que não seja possível absorver todo aquele material, considero a leitura prévia daquelas linhas um aspecto muito importante para facilitar a compreensão dos próximos parágrafos.

Sem dúvida, foi graças à tecnologia digital que os analisadores FFT analógicos, muito caros e bastante lentos, puderam ser construídos bem mais velozes e de forma muito mais econômica do que até então. Essa nova perspectiva foi como um marco histórico, dando um tremendo impulso ao desenvolvimento das ferramentas de medição para que elas começassem a se transformar nos instrumentos, como os conhecemos hoje.

Outra técnica muita empregada nas modernas ferramentas de medição é a MLS, abreviatura para Maximum Length Sequence. Que poderíamos traduzir Sequência de Comprimentos Máximos. Em essência, MLS é apenas uma sequência de pulsos pseudo-aleatórios. A técnica oferece uma ampla gama de recursos.

Calculando a correlação cruzada entre os sinais de entrada e de saída no aparelho que se quer avaliar, a técnica MLS produz com muita facilidade uma ou mais respostas de impulso. As quais podem ser facilmente equacionadas no domínio do tempo. E isso permite analisar os sinais acústicos com rejeição praticamente total dos componentes que representam as reflexões. Ora, isso significa que é possível fazer medições quase anecóicas de falantes e de caixas acústicas em quaisquer locais, inclusive os muito reverberantes.

A técnica também possibilita aferir de forma simples, eficaz e precisa, a resposta de impulso da sala e de vários parâmetros correlatos. Do mesmo modo, também é relativamente simples analisar e extrair informações de impedância e de coeficientes de absorção de superfícies. Em muitos casos a técnica MLS é mais vantajosa do que outras por rejeitar componentes CC de sinais, por ser um processo caracterizado por baixíssima relação sinal/ruído, além de outras características próprias.

Com tantas técnicas disponíveis não é de admirar que atualmente haja uma enorme gama de produtos no mercado, cada qual voltado para uma determinada aplicação. E assim, as

ferramentas foram sendo disponibilizadas de modo cada vez mais especializado.

O conjunto de todo o software disponível atualmente pode ser dividido nas seguintes categorias:

- apoio ao projetista
- alinhamento de sistemas
- acústica

- alto-falantes e caixas acústicas
- proprietários
- outros

A seguir vamos discutir os principais produtos, de forma que seja possível abranger todas as categorias relacionadas acima.

6.12.1 Apoio ao Projetista Os primeiros esforços de desenvolvimento de software para o áudio já contemplavam algumas das etapas dos projetos eletroacústicos que, cada vez mais, podiam ser parcialmente desenvolvidos com o auxílio de programas especializados.

Hoje, há uma infinidade de pequenos programas criados por empresas e por profissionais liberais, tudo para facilitar o trabalho dos projetistas.

Do mesmo modo, há uma grande quantidade de programas muito complexos desenvolvidos por empresas de software e por fabricantes, a maioria orientada exclusivamente para assistir aos projetistas de áudio em sua tarefa cotidiana.

Esses programas são praticamente todos baseados em CAD (Computer Aided Design).

De modo geral, eles possibilitam o modelamento real e em 3-D de quaisquer ambientes.

O que consiste em reproduzir o recinto tridimensionalmente, de forma gráfica, tal como um desenhista faria com um jogo de desenhos arquitetônicos.

Além disso, cada material de acabamento empregado internamente pode ser aplicado à sua respectiva superfície, no modelo. E com isso, os modelos virtuais acabam simulando com grande realidade os casos reais.

A partir disso, os modelos são utilizados para uma série de cálculos e de simulações, capazes de antecipar resultados que, em geral, se correlacionam muito bem com o que vem a ocorrer depois, na prática.

A maioria dos programas é capaz de fazer cálculos de tempos de reverberação, de campos acústicos, de inteligibilidade, além de estudos de reflexão.

No que diz respeito aos cálculos de tempo de reverberação, os programas trabalham com uma ou mais entre as seguintes possibilidades: Sabine, Norris-Eyring e Fitzroy. O usuário estabelece a alternativa desejada e as bandas de interesse com respectivas frequências centrais. E os programas respondem com gráficos tempo x frequência.

A partir deles é possível investigar parte do comportamento interno do recinto modelado.

Se não gostamos dos resultados, substituímos um material de acabamento por outro, e podemos ver em segundos quais serão as prováveis consequências. E esse processo iterativo

deve prosseguir até que estejamos plenamente satisfeitos.

Chegar aos resultados finais será tão mais rápido quanto maior for nossa experiência com acústica e com eletroacústica, e quanto mais domínio tivermos do programa com o qual estamos trabalhando.

Os cálculos de campo acústico objetivam informar como será a distribuição de energia ao longo da superfície de um dado plano. As pesquisas geralmente incluem os campos direto, refletido, reverberante e combinações deles.

O usuário determina as localizações e orientações dos clusters que pretende utilizar, qual o plano de interesse, geralmente o de audição, e que campo ou combinações de campos quer examinar.

A partir daí, após um simples comando, os programas passam a fazer contas, usualmente complexas e demoradas, para informar como será a distribuição do campo por todo o plano escolhido.

Cada programa utiliza sua própria maneira de fazer os cálculos e informar os resultados.

Geralmente a apresentação é gráfica. Na maioria dos programas o plano selecionado é pintado cromaticamente. Isto é, os programas trabalham com uma paleta de cores, varrendo um amplo espectro.

Nos dois extremos desse espectro estão sempre cores contrastantes. E entre elas as demais. Cada cor representa um nível diferente de L_p .

Desse modo, basta uma olhadela para o plano pintado para que se tenha uma boa ideia da homogeneidade do campo calculado, ou de suas combinações, além das maiores variações de L_p que os resultados simulados indicam. Esses cálculos podem ser feitos para diferentes bandas de frequências.

Como no caso dos cálculos de tempo de reverberação, se não estamos satisfeitos com os resultados, alteramos as quantidades dos clusters, ou isto e seu posicionamento, e até suas orientações, e pedimos ao programa que refaça os cálculos.

Naturalmente, podemos introduzir modificações até que tenhamos obtido os resultados desejados.

Praticamente todos os programas possibilitam que o usuário defina a resolução e a escala de trabalho.

Mas se estes cálculos já são naturalmente demorados, melhores resoluções tomam ainda mais tempo. Atualmente, isso pode ser aliviado com o uso de computadores muito velozes, especialmente os equipados com grandes bancos de memórias e aceleradores gráficos.

Os cálculos de inteligibilidade são feitos para um ou mais dos seguintes critérios: índice percentual de perda de articulação consonantal (AL_{CONS} %), com algoritmos Sabine, Norris-

Eyring ou Fitzroy, RASTI e AI (Articulation Index).

Também aqui há vários parâmetros que o usuário pode estabelecer, a exemplo do NRA de partida. Geralmente a resolução também pode ser especificada. Os cálculos podem ser feitos para as bandas de frequências estabelecidas pelo usuário.

Os primeiros estudos de reflexão acústica eram baseados nas técnicas de “ray tracing”. Essa técnica permite criar densas gerações de raios que são progressivamente refletidos nas superfícies internas dos espaços. A atenuação de energia ao longo dos trajetos e os ângulos de cada reflexão são os ingredientes usados para construir o resultado. Embora o algoritmo seja de implementação relativamente simples, há sempre a possibilidade de introdução de alguns erros. Especialmente os criados com a geração de reflexões espúrias e com a perda de reflexões válidas em função da progressão dos raios.

Este método de cálculo da imagem computa as imagens sônicas em cada uma das superfícies internas, de modo que pode aliviar os problemas da técnica “ray tracing”. Inicialmente muito veloz, este método vai se tornando mais e mais lento, já que nas instâncias finais de computação os cálculos das reflexões de ordem superior tornam-se progressivamente mais complexos.

Muitos especialistas advogam o uso combinado dessas duas técnicas, de modo a usufruir o melhor de ambas. Contudo, tal arranjo híbrido ainda requer uma grande quantidade de raios no início do processo, sofrendo da perda de imagens nas etapas finais.

A técnica de traçado de fecho é mais recente do que as anteriores. Com ela, o modelamento se faz com a propagações de um fecho cônico ou triangular, que representa o campo sonoro. Esse fecho é refletido em cada uma das superfícies internas, sendo testado por “detectores” a cada passo dado. Dessa maneira é possível obter a velocidade da técnica “ray-tracing” com a acuidade própria assegurado pelo uso de “detectores”. Ainda assim, como a propagação cônica ou triangular constitui apenas aproximações da propagação do campo de som, podem ocorrer faltas de reflexões e superposições, as quais devem ser compensadas por meios estatísticos.

Mais recentemente esta última técnica sofreu modificações, e acabou sendo batizada de método de traçado adaptivo de fecho. O recurso foi dividido com uma forma de assegurar uma elevada correlação com as propagações especulares dos campos de som, sem buracos nem superposições. A forma do fecho refletido é baseada em seções exatas das reflexões anteriores em superfícies planas, sem aproximações cônicas ou triangulares. Além disso, a técnica possibilita a geração de dados de energia difusa.

E graças a isso os elementos especulares e difusos podem ser combinados para dispensar ajustes empíricos e estatísticos.

E assim é possível fazer análises numéricas e gráficas dos padrões de reflexões entre os clusters e os pontos que especificamos no plano de audição. Também podemos especificar com quantas reflexões queremos que os programas trabalhem. Evidentemente, quanto maior for a quantidade mais tempo teremos que esperar.

As respostas dos programas são dadas graficamente de duas maneiras.

Com as reflexões desenhadas nos modelos, em gráficos com as formas aproximadas da figura 6.208, também chamados ecogramas e reflectogramas respectivamente.

Podemos nos valer dos estudos de reflexão para fazer análises dos tempos de viagem dos sons de dois ou mais clusters para uma dada posição, escolhida no plano de audição.

Dada a enorme quantidade de programas existentes, e sua complexidade, não seria possível individualizar detalhadamente cada um deles neste trabalho.

Mas não seria justo que parássemos por aqui.

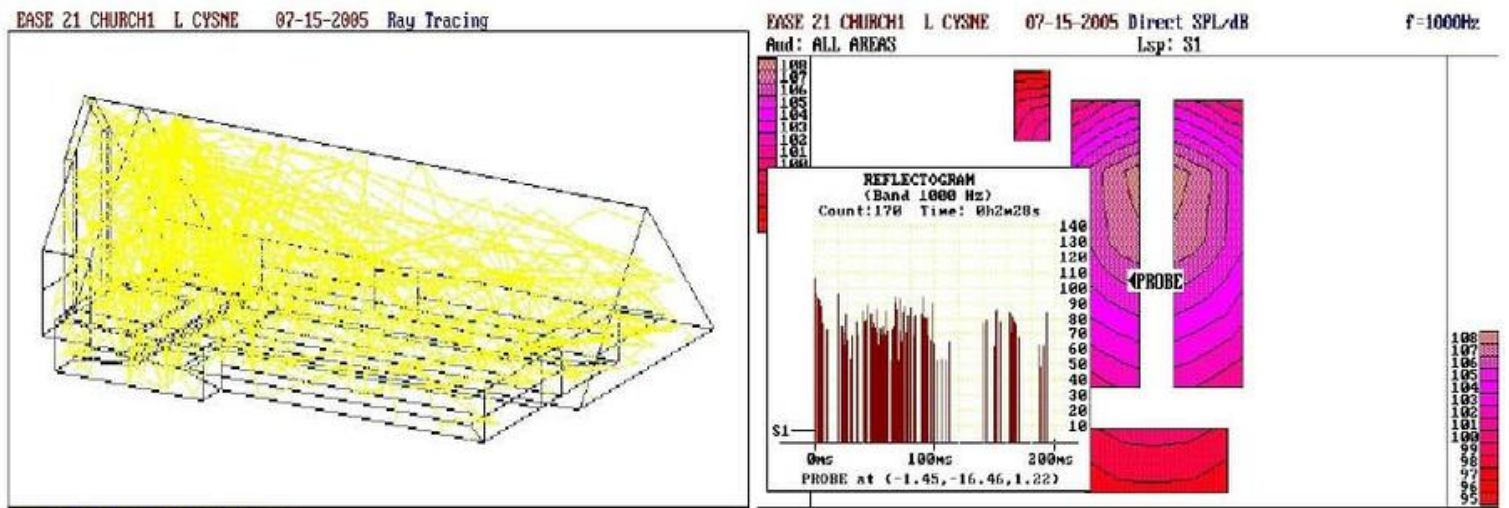


figura 6.209 ecograma (esquerda) e reflectograma (direita) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Portanto, e para que você possa ter ao menos uma ideia do que são os principais programas, veremos a seguir o que há de básico e relevante nos principais deles.

Vamos discutir a seguir os seguintes programas: o EASE, o CADP2, o AcoustacADD, o Modeler, o CATT-Acoustic e o Gain Calc, nesta ordem.

6.12.1.1 O EASE da AFMG



figura 6.210 Cysne e Anherth jantando em Berlin acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
EASE é abreviação para Enhanced Acoustic Simulator for Engineers. Imaginado e desenvolvido pelo Dr.

Wolfgang Anhart, da AFMG, esse é um programa de simulações eletroacústicas avançado para engenheiros. E também, o meu predileto.

Assim que a primeira versão do EASE ficou pronta para o mercado, a AFMG procurou a Philips Eindhoven para comercializar o produto. Ocorre que, naquela época, eu tinha um acordo comercial com a Philips Projects, também de Eindhoven, para elaborar todos os projetos da Philips no mundo. Por essa razão O Dr. Ian Evers, diretor da Philips Projects me chamou e me pediu para testar o EASE. Que, naturalmente, não era conhecido no mercado.

A foto da figura 6.210 registra um dos recentes jantares que tive com o Dr. Anhart em Berlin, num sofisticado restaurante onde servem um excelente eisbein.

Para testar o produto – quero dizer, o EASE, não o eisbein - elaborei meu primeiro projeto de sistema de reforço de som para um campo de futebol no México. Gostei muito do software e comecei a fazer algumas programações LISP para facilitar minha vida.

Agora que você sabe disso, provavelmente vai me ver como alguém altamente suspeito para falar sobre o EASE. Digo, escrever. Mas vamos em frente. Uma das principais vantagens do EASE é sua universalidade. Com efeito, praticamente todos os consultores de áudio do planeta usam essa ferramenta. De modo que, de um lado, praticamente todos os fabricantes de caixas acústicas geram dados de seus produtos para aplicação no EASE. De outro lado, os consultores encontram grande facilidade para intercambiar arquivos gerados com essa ferramenta.

Então cabe a pergunta, será que há motivo para essa preferência quase que sem exceções? A resposta é imediata. Há alguns motivos. O principal deles é que, ao contrário de praticamente todos os demais programas do mesmo nível, o EASE é totalmente aberto.

Essa abertura tem duas vertentes, ambas absolutamente importantes. Uma delas é que a base de dados dos materiais de acabamento para as superfícies internas dos espaços pode ser editada a qualquer tempo. Com inclusões e exclusões feitas à vontade pelo usuário. A segunda vertente é que o EASE possibilita a inclusão de falantes e combinações de quaisquer falantes produzidos no planeta. Por exemplo, se você constrói suas próprias caixas acústicas e que usá-las no modelamento, não há problemas. O único requisito é que você produza os dados necessários para tanto. Pois o programa está preparado para aceitá-los. Logo depois da Philips a Renkus-Heinz passou a comercializar o EASE. Considero essa empresa terrivelmente séria e muito profissional. Seu diretor presidente, Dr. Harro Heinz, é um senhor extremamente capaz e bastante comunicativo. Trata-se de uma pessoa que fala deste programa com muito carinho. E não sem razões.

O modelamento, geralmente mais ou menos trabalhoso em praticamente todos os demais programas do gênero, é algo extremamente simples e rápido no EASE.

Podemos iniciar o modelamento a partir de qualquer um dos vários protótipos para tanto

existentes no programa, apenas ajustando as medidas para o caso com o qual estamos trabalhando.

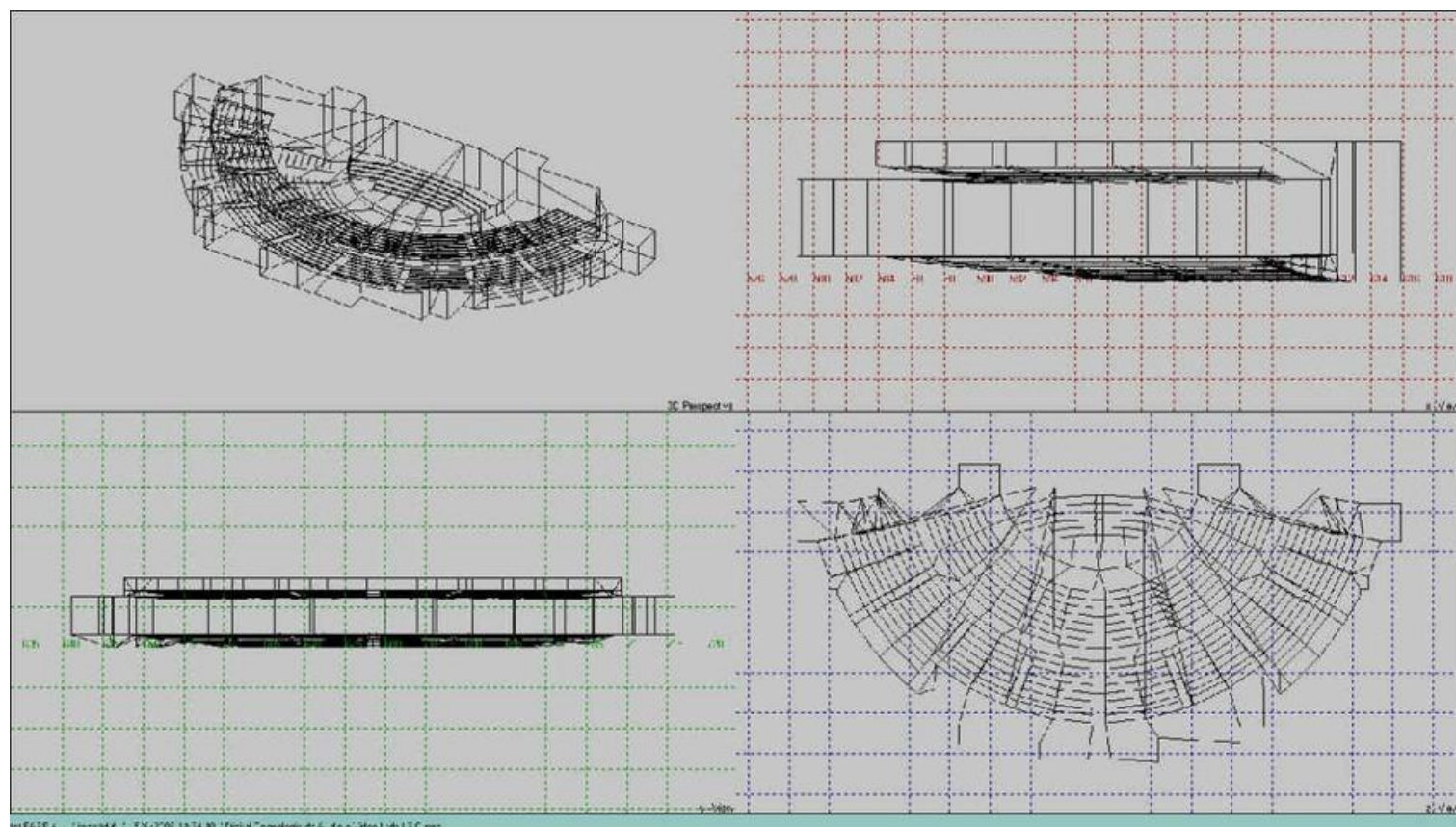


figura 6.211 igreja Santa Marina modelada com o EASE da Renkus-Heinz acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra alternativa é entrar com as coordenadas X, Y e Z dos vértices da figura tridimensional que queremos modelar. Em caso de erro, a edição é imediata.

Também é possível fazer os desenhos em AutoCad e importá-los para o EASE. A propósito, a exportação posterior é feita com a mesma facilidade.

Para efeito de ilustração do EASE, todas as figuras apresentadas a seguir referem-se à imponente Igreja Evangélica Assembleia de Deus do Plano Piloto, em Brasília, DF.

A figura 6.211 exhibe o modelamento dimensional do espaço, mostrando algumas vistas de “wiremesh”.

No quadrante superior esquerdo uma perspectiva com certo afastamento do templo, no quadrante superior direito aparece a vista lateral, no quadrante inferior esquerdo a vista traseira do templo e, finalmente, no quadrante inferior direito está a vista superior.

Uma das coisas que possibilita ver detalhes quase invisíveis é ampliar a perspectiva do desenho ainda em sua fase “wiremesh”.

Desse modo podemos observar junções de superfícies, alturas relativas, proporções de objetos em geral, ter uma ideia muito real da capacidade de lugares de praticamente quaisquer recintos, ideia de metragem de paredes, de segmentos de piso, de partes de forro, *etc.* Veja uma dessas ampliações na figura 6.212.

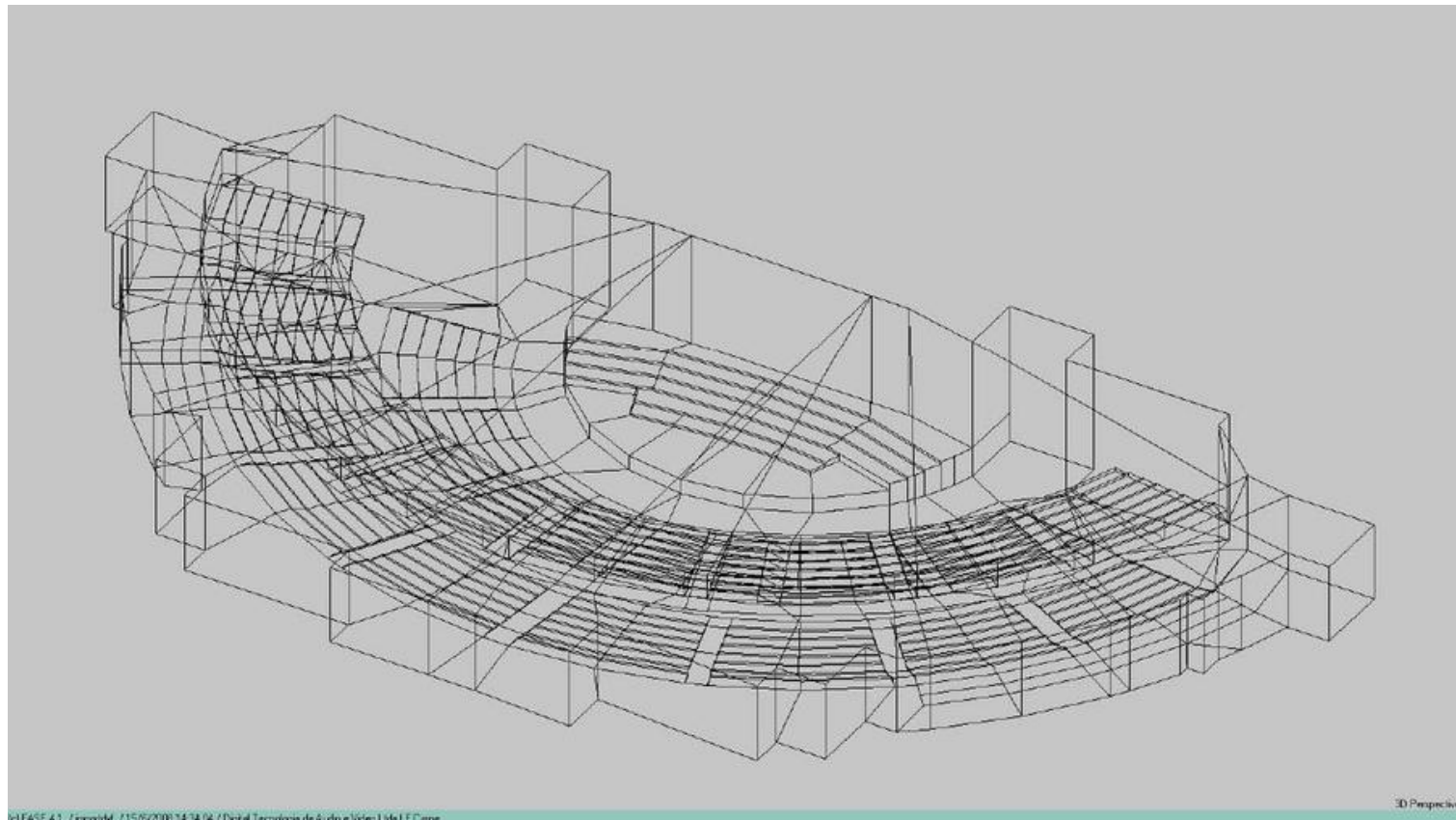


figura 6.212 vista do templo em perspectiva, com ampliação de 2,5 vezes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Com efeito, uma vez feita a modelagem dimensional, precisamos ativar duas bases de dados.

A dos materiais de acabamento e a dos falantes que pretendemos utilizar.

É costume organizar as bases de materiais contendo apenas os itens utilizados no projeto em questão. Por exemplo, para igrejas.

Por outro lado, a base de dados dos falantes já é organizada por fabricante. Como disse antes, praticamente todos os modelos de todos os fabricantes já constam da base de dados. Portanto, devemos selecionar apenas as bases desejadas. O que ajuda a não sobrecarregar as memórias.

É exatamente nesse momento que entra em cena aquela grande vantagem do programa. Essas duas bases de dados são totalmente configuráveis. Isso significa que, se você estiver fazendo o modelamento e não encontrar um determinado material de acabamento na base de dados escolhida, poderá acrescentá-lo. Assim como os respectivos coeficientes de absorção acústica. E a seguir, pode atualizar a base de dados já incrementada com esse novo material. Seguindo o mesmo raciocínio, você pode adicionar tantos materiais quantos queira. Em quaisquer das bases de dados.

As fichas dos novos materiais são como mostra a figura 6.213.

Há um detalhezinho muito interessante para o qual gostaria de chamar sua atenção.

Veja que na seção direita da ficha, aparecem os coeficientes de absorção acústica, com a frequência central da banda indicada à esquerda e o valor numérico do coeficiente à direita. Entre ambos surge um gráfico que representa a atuação acústica do material ao longo de todo o espectro de frequências considerado. Ele é automaticamente desenhado em função dos valores

numéricos dados aos coeficientes.

E porque isso é importante?

Porque permite visualizar se esse material é adequado ou não para ajudar a restabelecer a melhor condição de reverberação do espaço e, ainda, em que medida. Ou seja, esse gráfico funciona como uma espécie de bula, que pode ser analisada em função do diagnóstico.

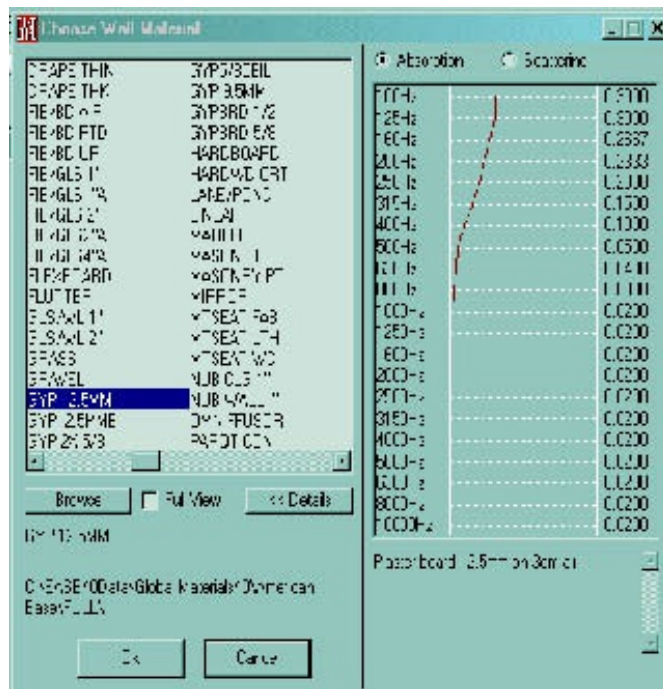


figura 6.213 ficha de material introduzido na base de dados com os respectivos coeficientes de absorção acústica cortesia Cysne Science Publishing Co Do mesmo modo, é igualmente simples e rápido incrementar a base de dados dos falantes. O que podemos fazer a partir de novos dados fornecidos pelos fabricantes, ou mesmo de dados que tenhamos tido a oportunidade de levantar.

No caso específico do projeto desta igreja escolhi as caixas acústicas DC212 que projetei há alguns anos. Elas já constavam da base de dados porque fiz as medições e as inclusões há tempos atrás. Nada disso foi problema.

Uma vez concluída a modelagem dimensional física do espaço, todas as superfícies internas são consideradas absorventes puros por “default” do programa. Ou qualquer outro material que escolhermos para ser o “default”. Portanto, a escolha deve recair no material que é usado mais amiúde.

É preciso aplicar materiais de acabamento, como desejado, a todas as superfícies internas. Isso se faz com incrível facilidade.

Com o desenho da modelagem dimensional visível, e usando os recursos de edição do programa, clica-se numa das superfícies, e a respectiva “ficha” é automaticamente aberta. Então clica-se na janela da “ficha” que informa qual é o material de acabamento, e abre-se um menu com todos os materiais disponíveis na base de dados dos materiais. Então escolhemos o que queremos e fechamos o procedimento. Fazendo o mesmo com todas as demais superfícies.

O EASE permite associar cores a cada superfície diferente, num total de 256 cores, e depois, possibilita a renderização do desenho. Veja um exemplo disso na figura 6.213.

Nesse sentido, renderizar significa dar um caráter de real ao espaço.

MÁRMORE	VÍDRO DE VITRAL	QUATIZITO	CONCRETO PINTADO
			
CONCRETO ACARPETADO	FORRO DE CESSO	VÍDRO LAMINADO	VÍDRO COMUM DE JANELA
			

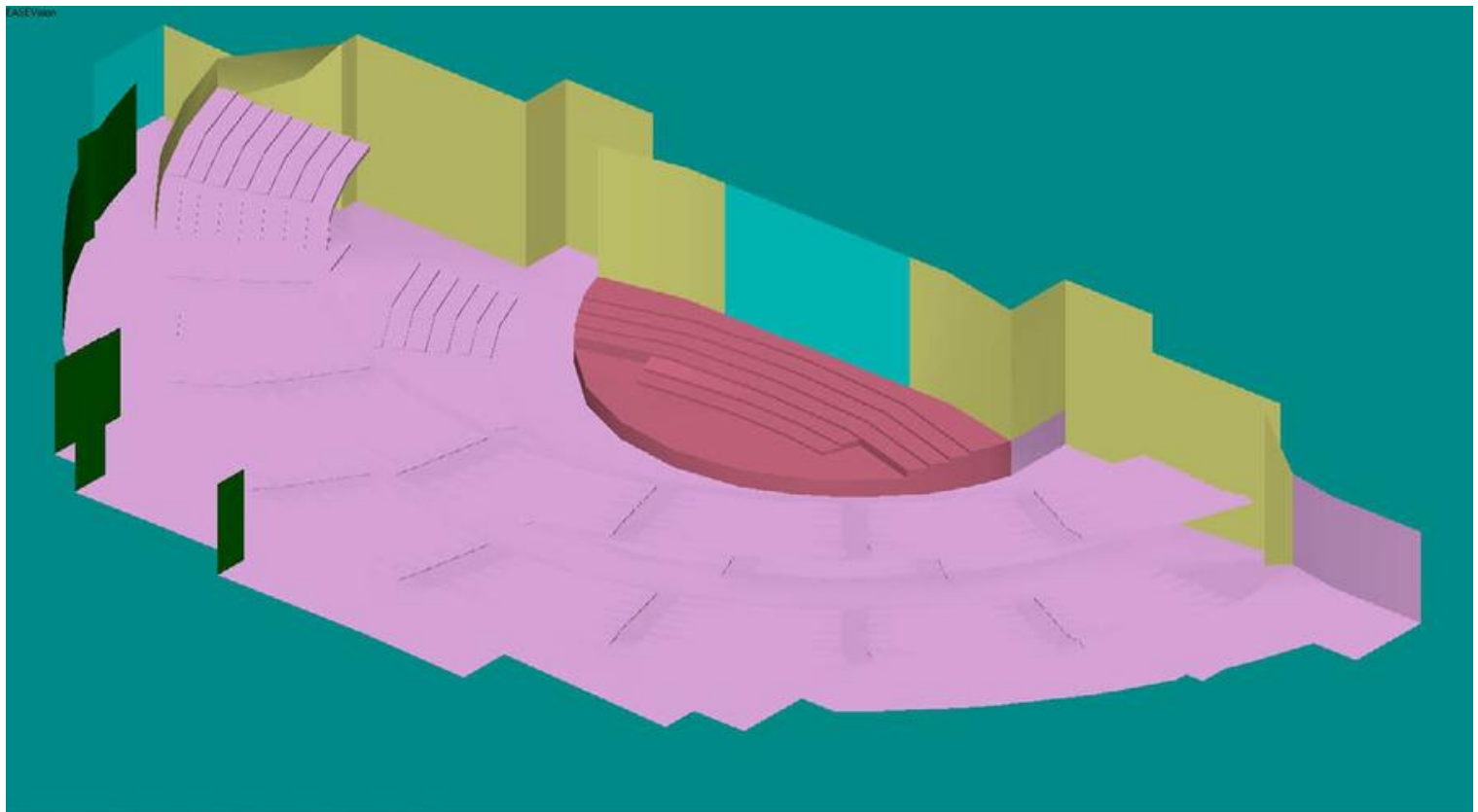
figura 6.214 cores livremente atribuídas a cada material de acabamento diferente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.214 mostra claramente que cada cor corresponde a um material de acabamento diferente. Como podemos escolher a cor de cada material, podemos participar ativamente do processo de renderização.

Por exemplo, a cor verde turquesa dada à parede que fica atrás do palco corresponde ao vidro. A cor marrom avermelhada que se vê no piso do palco corresponde a madeira, acabamento comum e típico de pisos de palcos.

Dessa forma, estabelecemos uma relação inicial de todos os materiais de acabamento existentes e associamos cor a cada um deles. A partir disso podemos começar o processo de renderização.

A renderização nos permite ter uma excelente visão antecipada de como ficará o interior do espaço já acabado, mas ainda em ambiente virtual. Veja isso na figura 6.215.

Nessa figura o ponto de observação para referência da renderização fica no lado esquerdo do templo, em posição bastante elevada.



(c) EASE 4.1 / importar model2 / 31/5/2008 22:05:46 / Digital Tecnologia de Audio e Vídeo Ltda LF Cysne

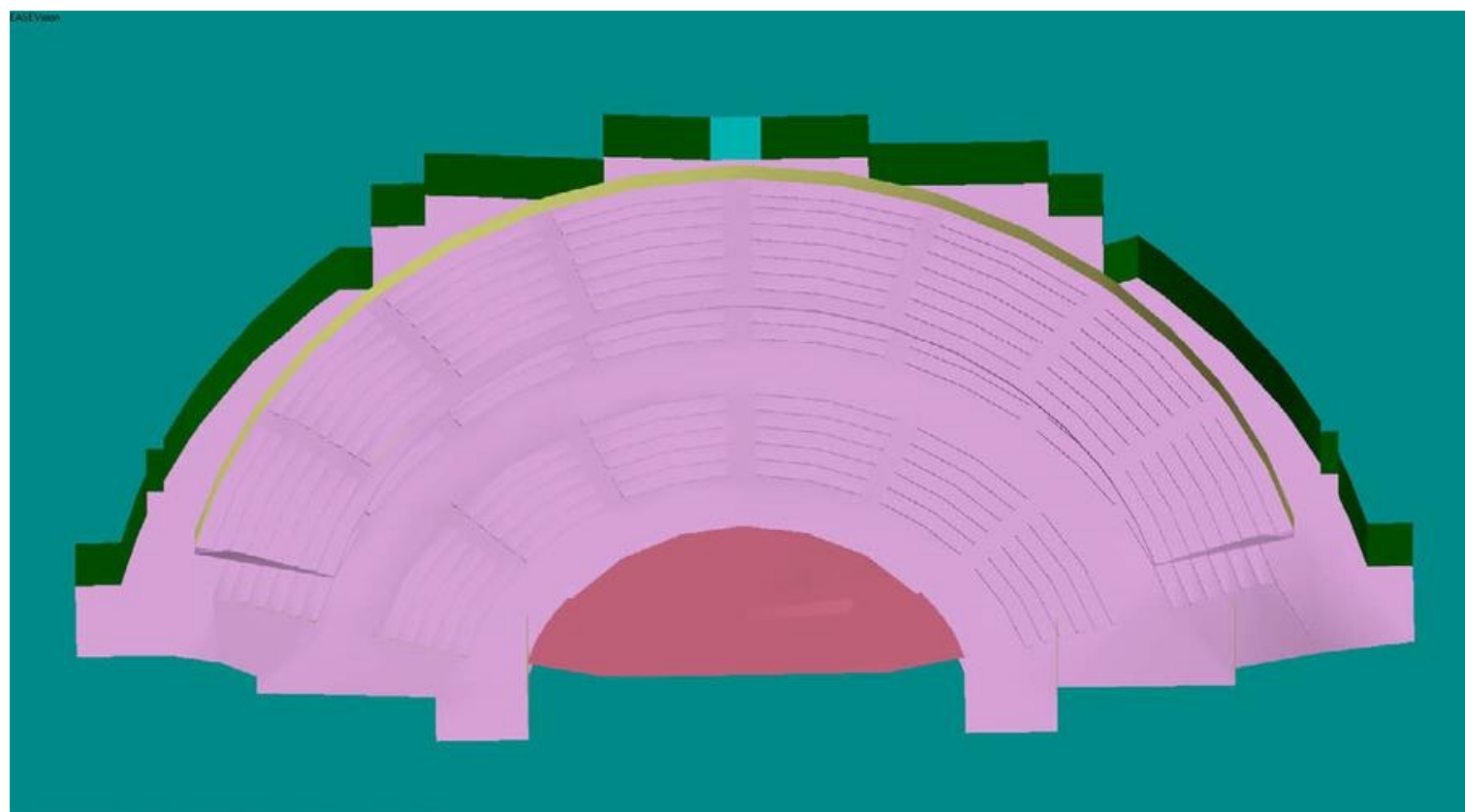
figura 6.215 renderização da igreja, vista em perspectiva, com o observador situado do lado direito do templo, em posição bastante elevada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.216 mostra outra renderização, agora com o observador situado na linha medial do templo, num ponto bastante centralizado, em posição muito elevada.

A figura 6.217 é uma renderização semelhante à da figura 6.216. Entretanto, o ponto de

observação foi mudado do lado direito do templo para o lado esquerdo, mantendo-se sua altura, relativamente elevada.

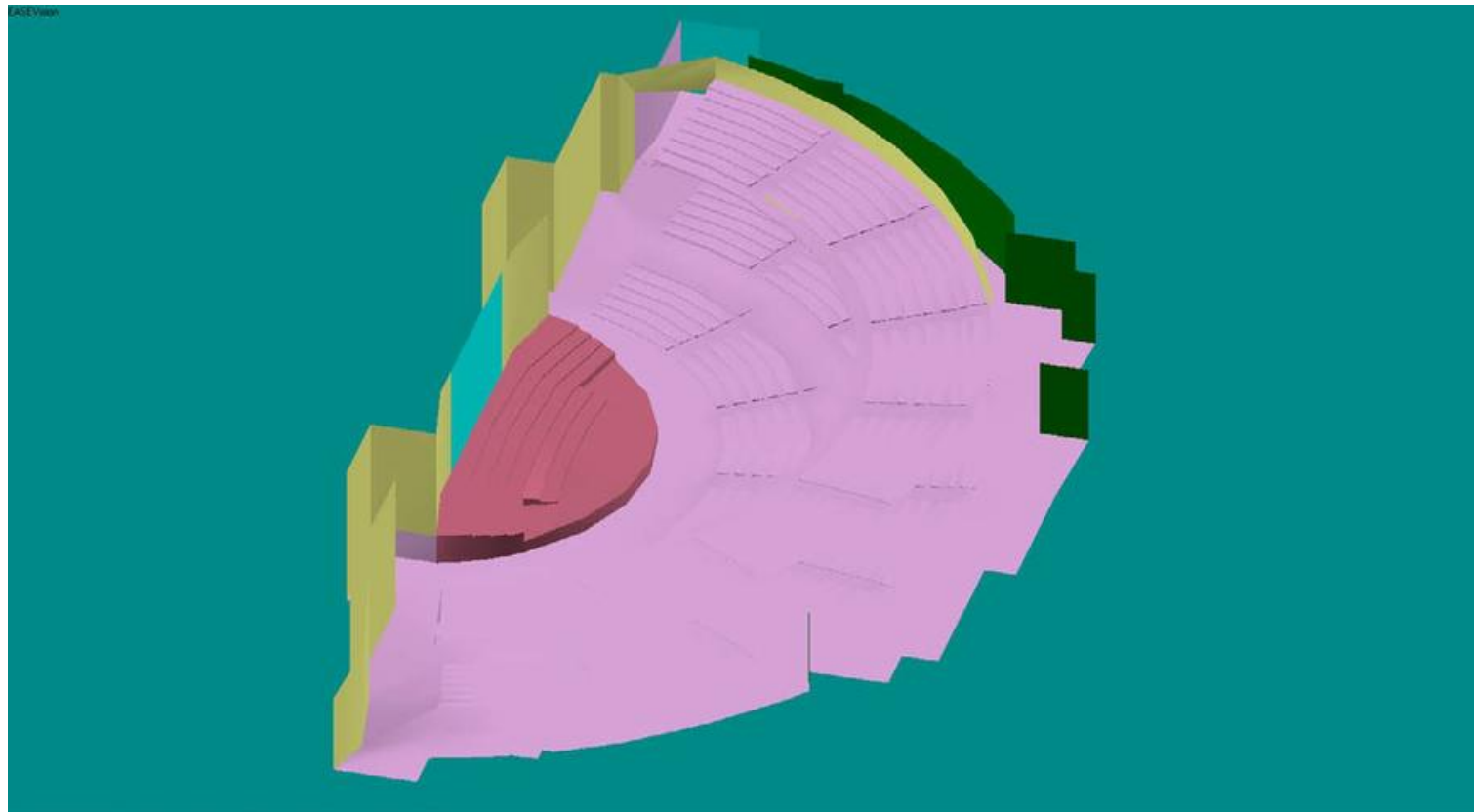
A rigor, podemos estabelecer precisamente a localização do ponto de observação antes de cada renderização. Esse recurso aparentemente simplório possibilita explorar detalhes com o zoom necessário para profundidade de análise que se deseja fazer, sem nenhum fator condicionante. Isso é muito útil em ambientes assimétricos, como é o caso desta igreja.

Na figura 6.218 está outra renderização. Nesta, o ponto de observação é o de alguém no palco do templo, mas com altura suficiente para ver toda a área do balcão superior, ao fundo. Esse observador tem uma ampla visão de todo o interior do templo, como se pode ver na figura.



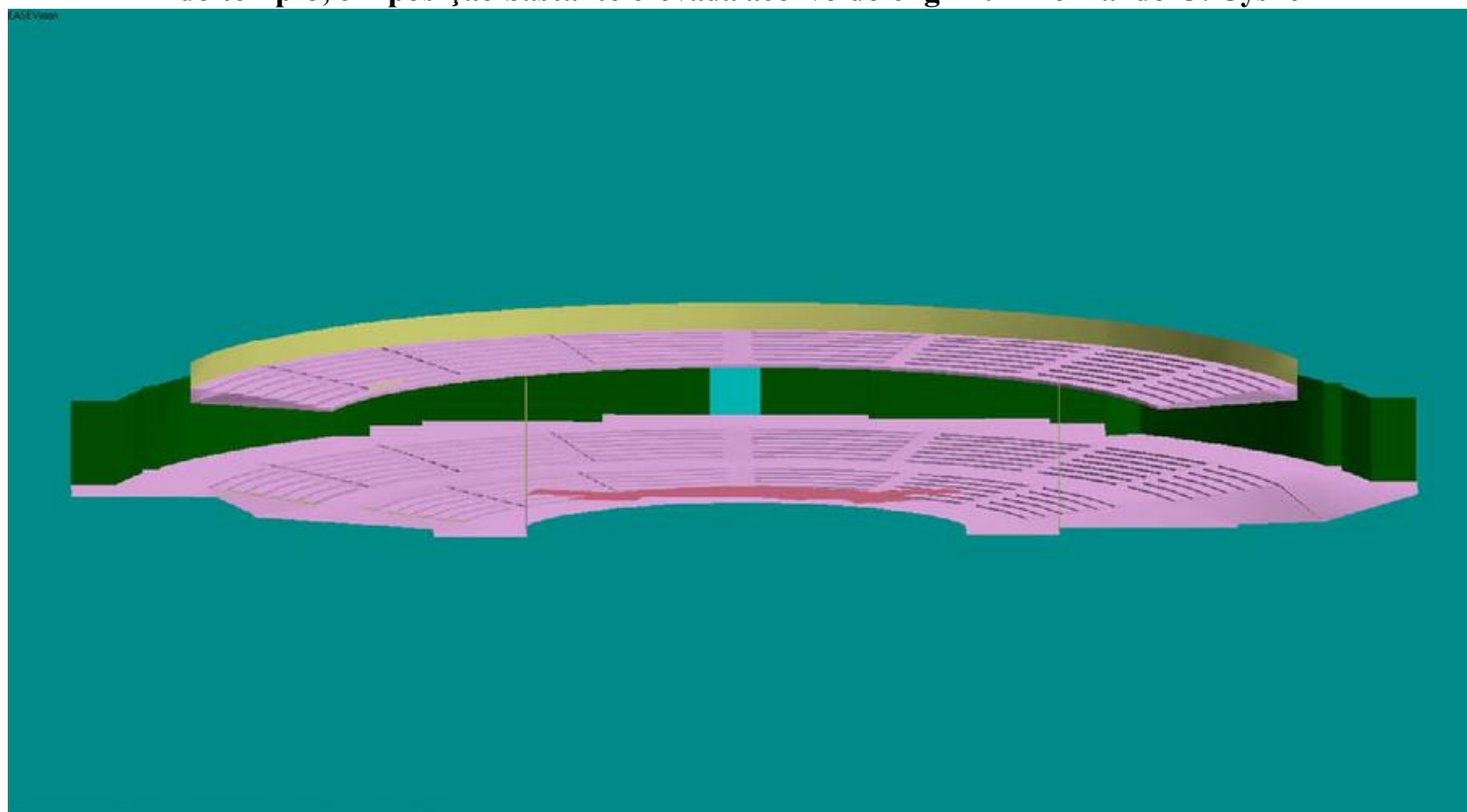
(c) EASE 4.1 / importad model2 / 31/5/2008 22:07:19 / Digital Tecnologia de Audio e Video Ltda LF Cysne

figura 6.216 renderização da igreja, vista por um observador situado ao centro do templo, acima do palco, em posição bastante elevada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



(c) EASE 4.1 / importá model2 / 31/5/2008 22:09:16 / Digital Tecnologia de Audio e Vídeo Ltda LF Cysne

figura 6.217 renderização da igreja, vista em perspectiva, com o observador situado do lado esquerdo do templo, em posição bastante elevada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



(c) EASE 4.1 / importá model2 / 31/5/2008 22:07:49 / Digital Tecnologia de Audio e Vídeo Ltda LF Cysne

figura 6.218 renderização da igreja, com o observador situado no palco acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma vez escolhidos e aplicados todos os materiais de acabamento, queremos saber quais são os tempos de reverberação que resultam. No processo manual, e sem utilizar qualquer programa de apoio, somos obrigados a fazer os cálculos manualmente.

Se os tempos de reverberação fogem muito dos considerados ideais, precisamos apelar para um processo de tentativa e erro, no qual vamos substituindo os materiais, e recalculando os tempos.

Embora projetistas experientes geralmente caminhem na direção correta, o processo tende a ser bastante trabalhoso e lento. Além disso, envolve uma grande quantidade de contas, algumas vezes responsável por erros.

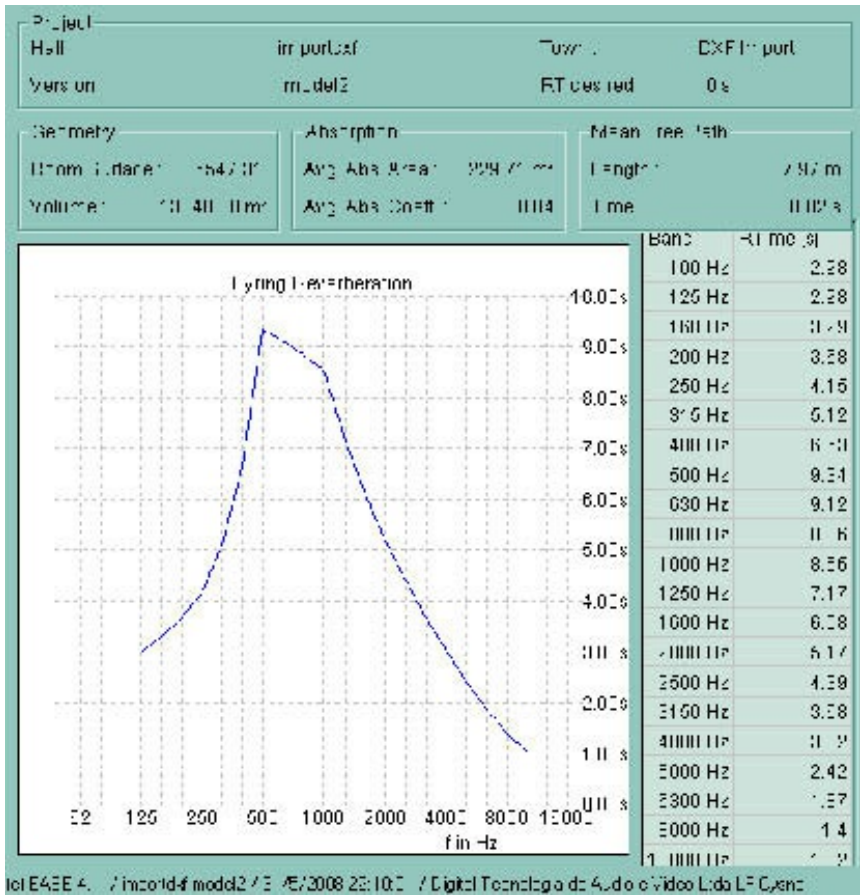


figura 6.219 tempos de reverberação para a igreja, antes do tratamento acústico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Utilizando o EASE, uma vez que tenhamos todas as superfícies devidamente “revestidas”, podemos ter uma ideia muito aproximada dos tempos de reverberação do recinto. Como mostra a figura 6.219.

Se os resultados não são satisfatórios, como neste caso, basta que editemos uma ou mais superfícies, ou parte de uma ou de algumas delas, o que é extremamente rápido, e verifiquemos novamente os resultados. O que é ainda mais rápido.

Mas também podemos lançar mão de um recurso do programa, denominado otimização do tempo de reverberação.

Se definirmos quais são os tempos de reverberação ideais, ou quais os tempos que desejamos, o recurso apresenta automaticamente sugestões de outros materiais, com os quais nos aproximamos das figuras estabelecidas.

Também é possível consultar uma ou mais tabelas para estabelecer o Tempo de Reverberação (RT_{60}) considerado ideal para esse espaço, com seu volume físico e para a programação desejada.

Seguindo esses passos, para a locução de voz determinamos $RT_{60}=1,12$ segundos para todo o espectro de interesse.

É o que ilustra claramente a figura 6.220.

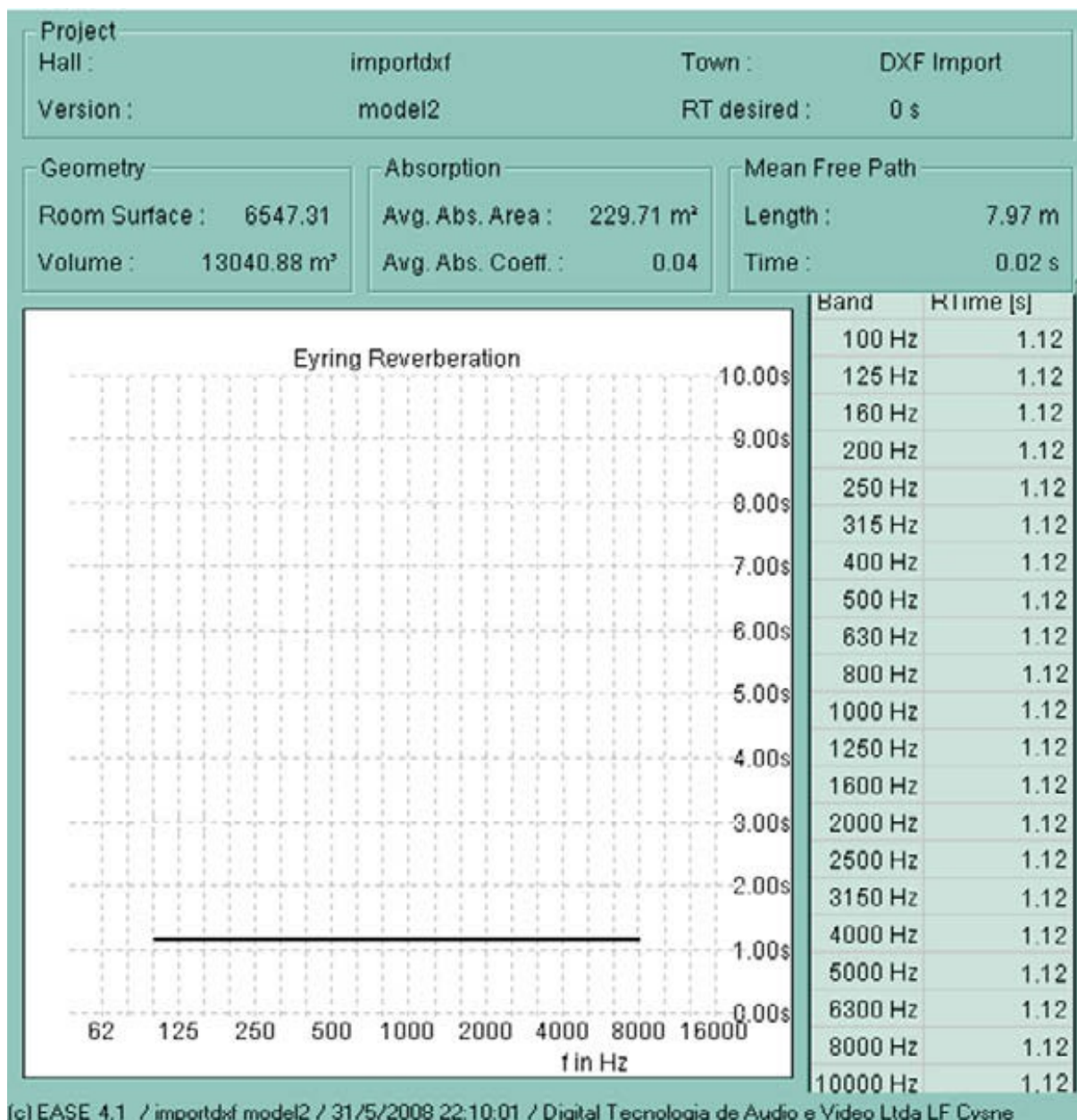


figura 6.220 tempos de reverberação ideais para a igreja, objetivo do tratamento acústico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O propósito do projeto agora é obter tempos de reverberação consistentes com o que mostra a figura 6.220.

Para tanto, vamos introduzindo aos poucos materiais de acabamento cujos coeficientes de absorção possibilitem a absorver mais energia onde é mais necessário.

Uma análise rápida da figura 6.219 mostra que a banda de oitavas centrada em 500 Hz é a que mais precisa absorção.

Seguida de perto pela banda centrada em 1 kHz.

E assim por diante.

Isso nos orienta na escolha dos materiais mais adequados para nosso caso específico.

Para cada material introduzido podemos usar o EASE para desenhar a nova curva de tempos de reverberação.

Isso possibilita ver se houve mesmo avanço na direção desejada e em que proporção. Cada novo material introduzido pode ser associado a uma nova cor e, para cada introdução podemos refazer a renderização.



(c) EASE 4.1 / importé model2 / 4/6/2008 01:04:20 / Digital Tecnologia de Áudio e Vídeo Ltda L.F. Cysne

figura 6.221 nesta renderização o ponto de observação é o mesmo da figura 6.75. O que é novo é a introdução das poltronas estofadas e as áreas dos planos de audição das pessoas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

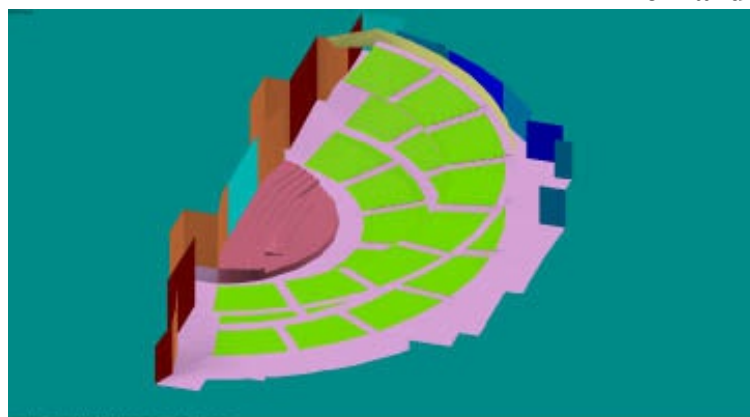


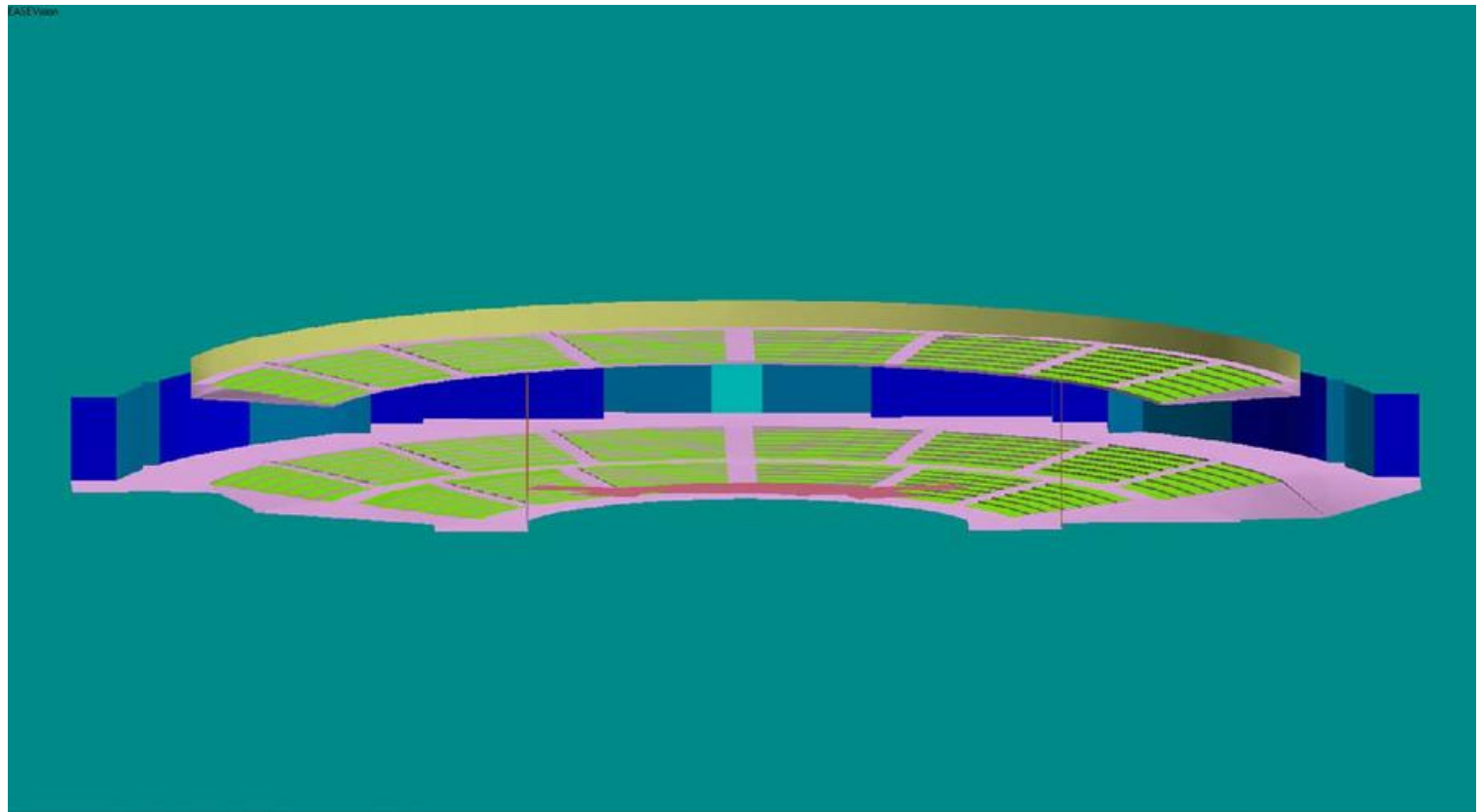
figura 6.222 renderização como a da figura 6.81, com o ponto de observação deslocado para o lado esquerdo do templo. Aí estão as poltronas estofadas e as áreas dos planos de audição das pessoas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os recursos gráficos são muito bem elaborados.

É possível ajustar a perspectiva para quaisquer ângulos que possam facilitar o entendimento do que está ocorrendo.

Além disso, a ferramenta “zoom” pode ser utilizada separadamente ou em conjunto com as perspectivas para revelar praticamente tudo que qualquer projetista precisa consultar.

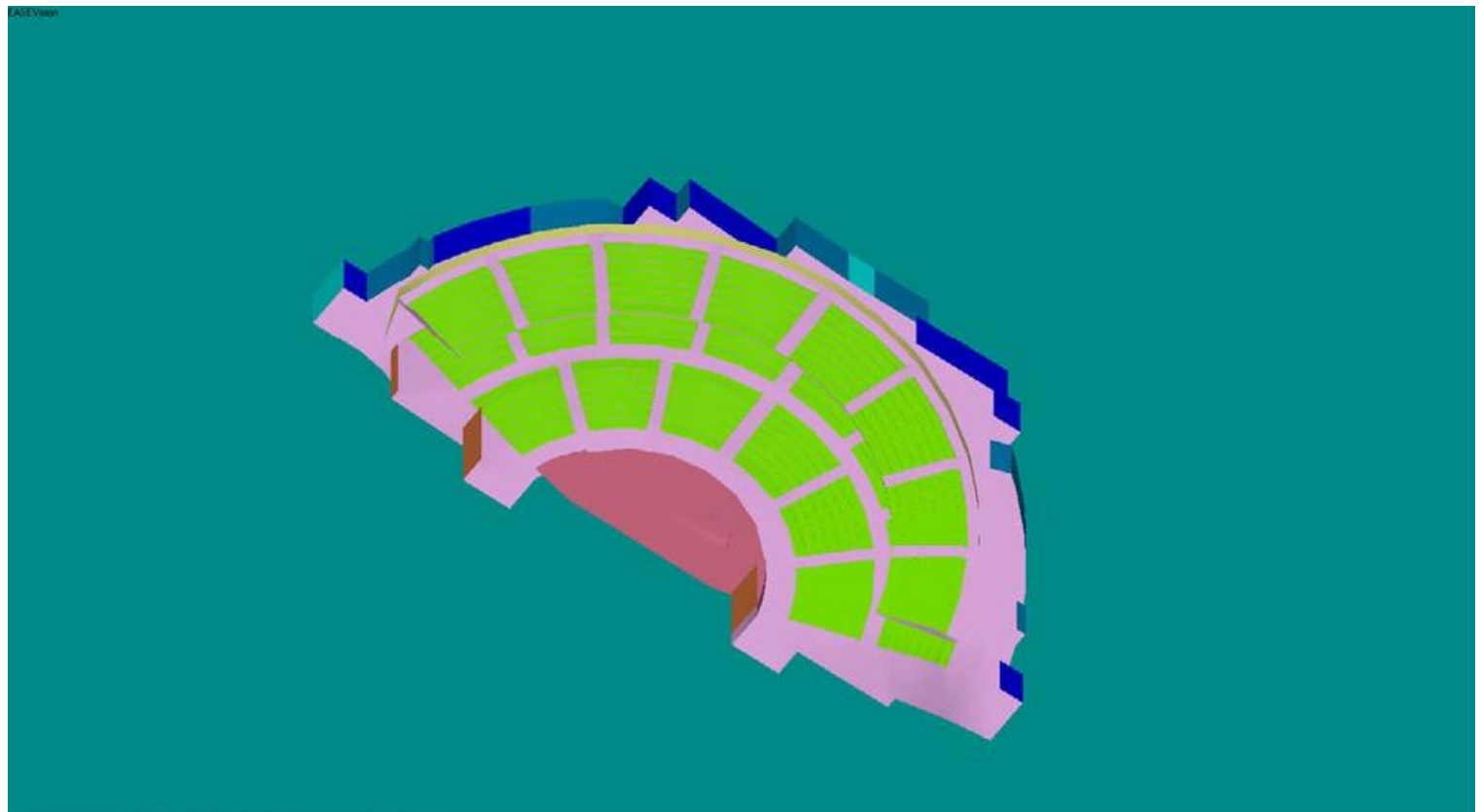
Por vezes ocorre a necessidade de alteração de cores de materiais, para facilitar a interpretação. Nada mais fácil do que isso no EASE.

É questão de uma única operação, por sinal bem simples, para que todas as cores a alterar sejam renovadas.



(c) EASE 4.1 / importé model2 / 4/6/2008 01:05:58 / Digital Tecnologia de Audio e Video Ltda LF Cysne

figura 6.223 renderização como a da figura 6.217, sendo que agora ficam bem visíveis as paredes do fundo da igreja, renderizadas em tons de azul no térreo e de mostarda no primeiro pavimento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 6.224 e 6.225 mostram mais duas renderizações já com todos os novos materiais de acabamento introduzidos.



(c) EASE 4.1 / importé model2 / 4/6/2008 01:07:50 / Digital Tecnologia de Audio e Video Ltda LF Cysne

figura 6.224 renderização com ponto de observação muito elevado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como você pode observar, o processo é desenvolvido numa sequência lógica e natural. Creio que essa é mesmo a essência principal dos mecanismos de simulação.

Ou seja, um curso no qual há a possibilidade de vários pontos de verificação do andamento.

O melhor desse procedimento é que eventuais correções podem ser implementadas de imediato, evitando totalmente que se perca tempo com o desenvolvimento de tarefas que desembocariam em “becos sem saída”.

Com a experiência de anos de uso do EASE, o projetista acaba criando uma espécie de sexto sentido que aponta para os momentos em que as correções são necessárias.

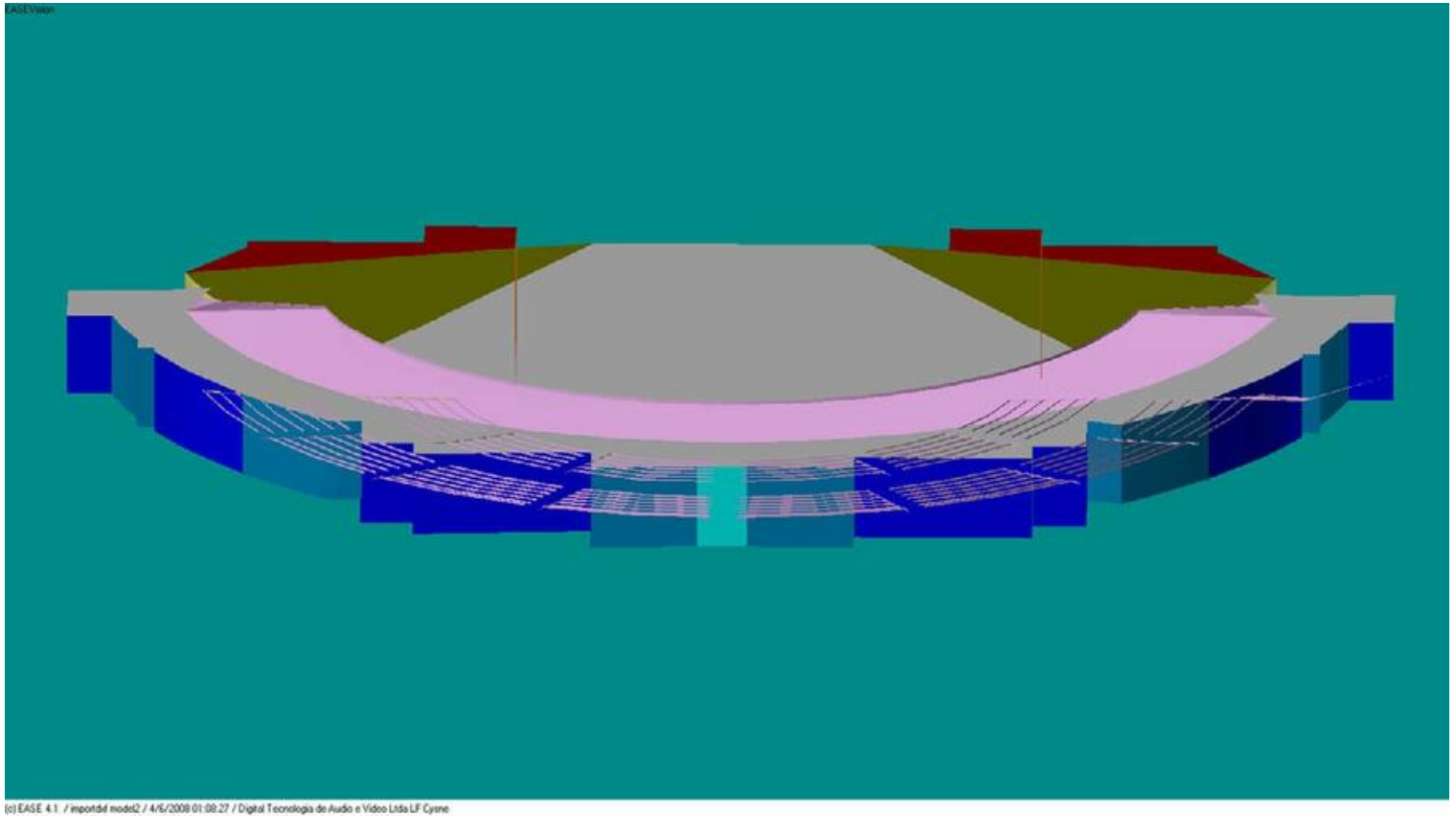


figura 6.225 renderização com ponto de observação fora do espaço interior da igreja de modo a realçar a visibilidade do forro do templo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 6.226 tempos de reverberação previstos para a condição de pós tratamento acústico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ao final desse tratamento terminamos com os tempos de reverberação da figura 6.226.

A figura 6.227 mostra, do lado esquerdo, a curva preta com os Tempos de Reverberação antes do tratamento e o segmento de reta verde mostrando os Tempos de Reverberação considerados ideais e, por isso, transformados em objetivo de projeto.

A parte direita da figura repete as figuras de Tempos de Reverberação anteriores e acrescenta a curva vermelha, que corresponde aos Tempos de Reverberação que deverão ser obtidos após tratamento acústico de condicionamento interno.

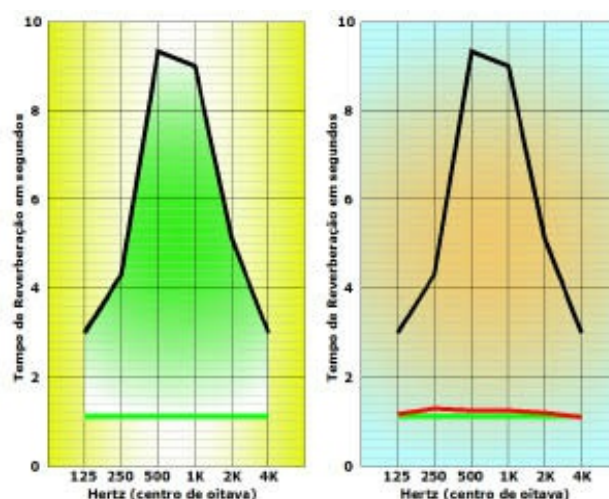


figura 6.227 lado esquerdo: tempos de reverberação antes do tratamento na cor preta e tempos de reverberação ideais a obter, na cor verde lado direito: as mesmas curvas desenhadas no lado esquerdo e mais a curva vermelha, dos Tempos de Reverberação que serão obtidos após tratamento acústico

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando o projetista entende que curva vermelha se aproximou o suficiente da curva verde, e que os quesitos de acústica foram satisfeitos, é hora de introduzir os falantes no modelo desenhado e, agora, com boa parte da acústica já resolvida.

Convém conferir tudo até este ponto porque ele de fato representa um marco no processo. Ou seja, tudo o que foi feito até este momento será a base do que está por vir.

Uma das coisas que o EASE faculta fazer é pesquisar o comportamento das pilhas de line array, processando os dados individuais e promovendo sua combinação considerados todos os aspectos de fases.

Posteriormente, os resultados dessas pesquisas podem ser arquivados para uso futuro.

O EASE pode mostrar esses resultados de inúmeras maneiras.

Algumas delas são apresentadas a seguir nas figuras 6.228 a 6.239. Estou me referindo aos balões de cobertura que podem estar desenhados na forma “wiremesh”, mas também podem ser renderizados.

A forma renderizada apresenta algumas vantagens.

A primeira é que essa maneira interpreta com mais fidelidade as representações 3D.

Possibilitando que entendamos melhor a proposta dos desenhos.

A segunda vantagem é que o uso de cores fica associado com gradação de magnitude, possibilitando que tenhamos uma visão bem crítica de todos os elementos incluídos nos desenhos.

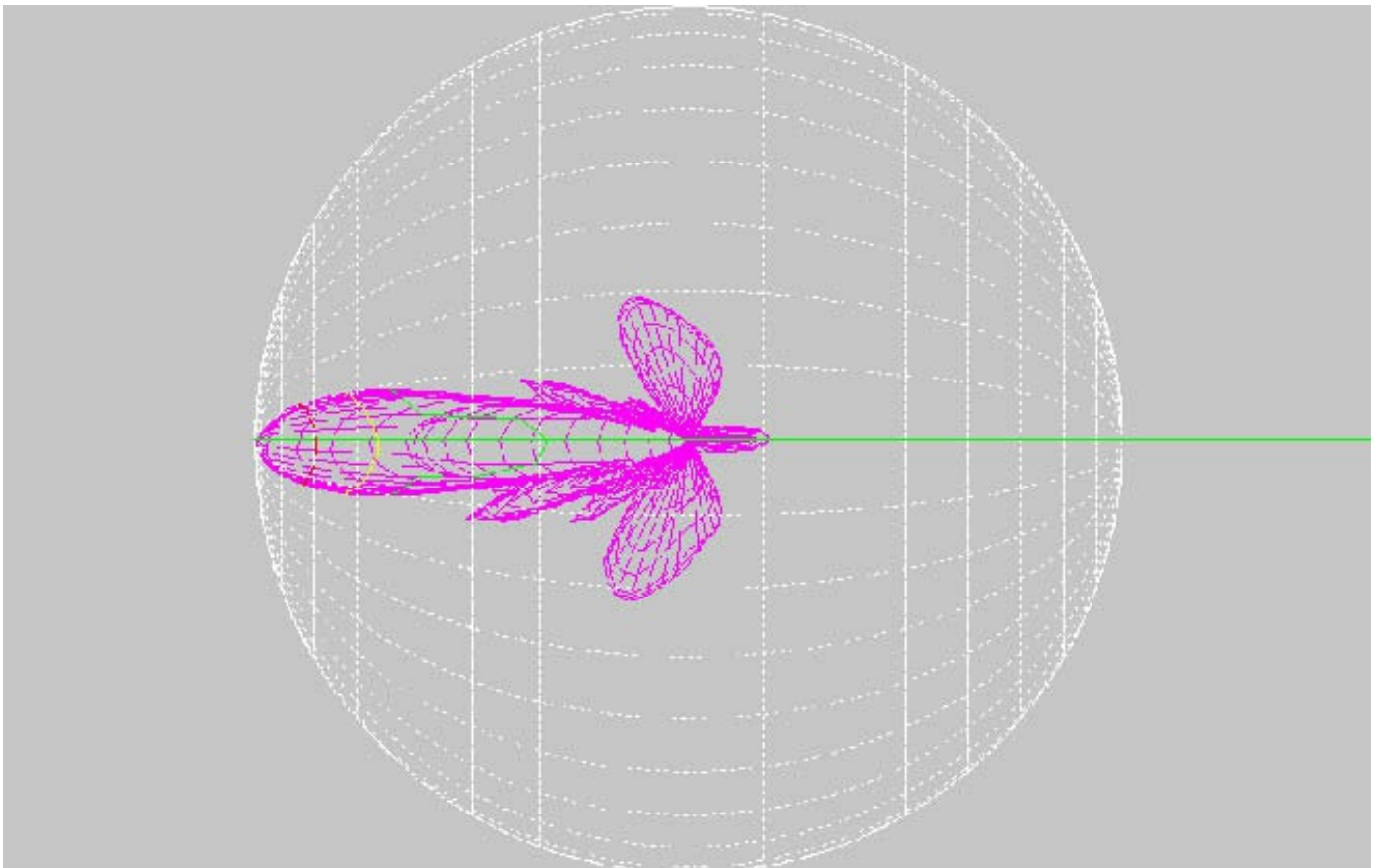


figura 6.228 balão de cobertura da pilha, vista lateral esquerda acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

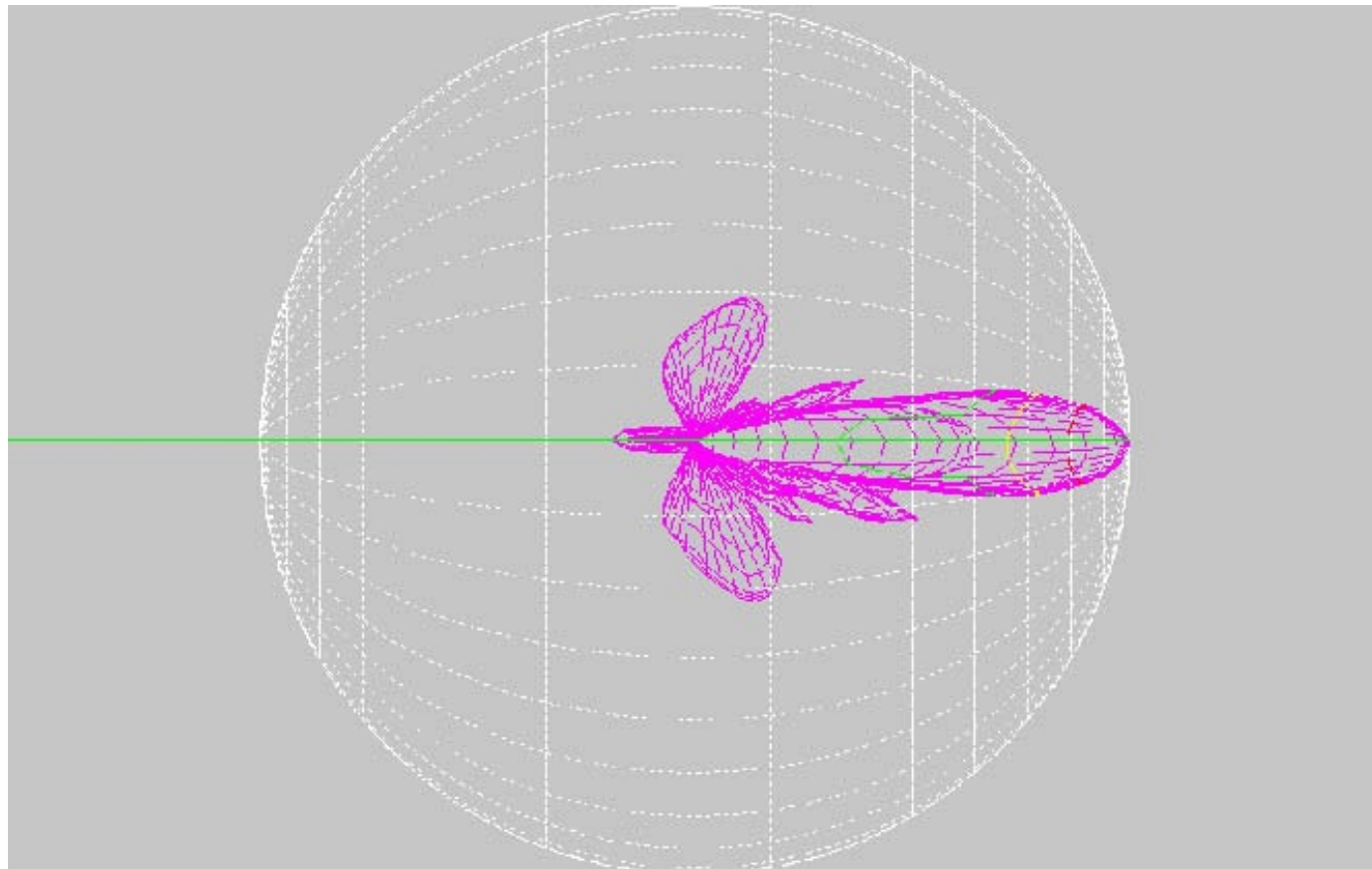


figura 6.229 balão de cobertura da pilha, vista lateral direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

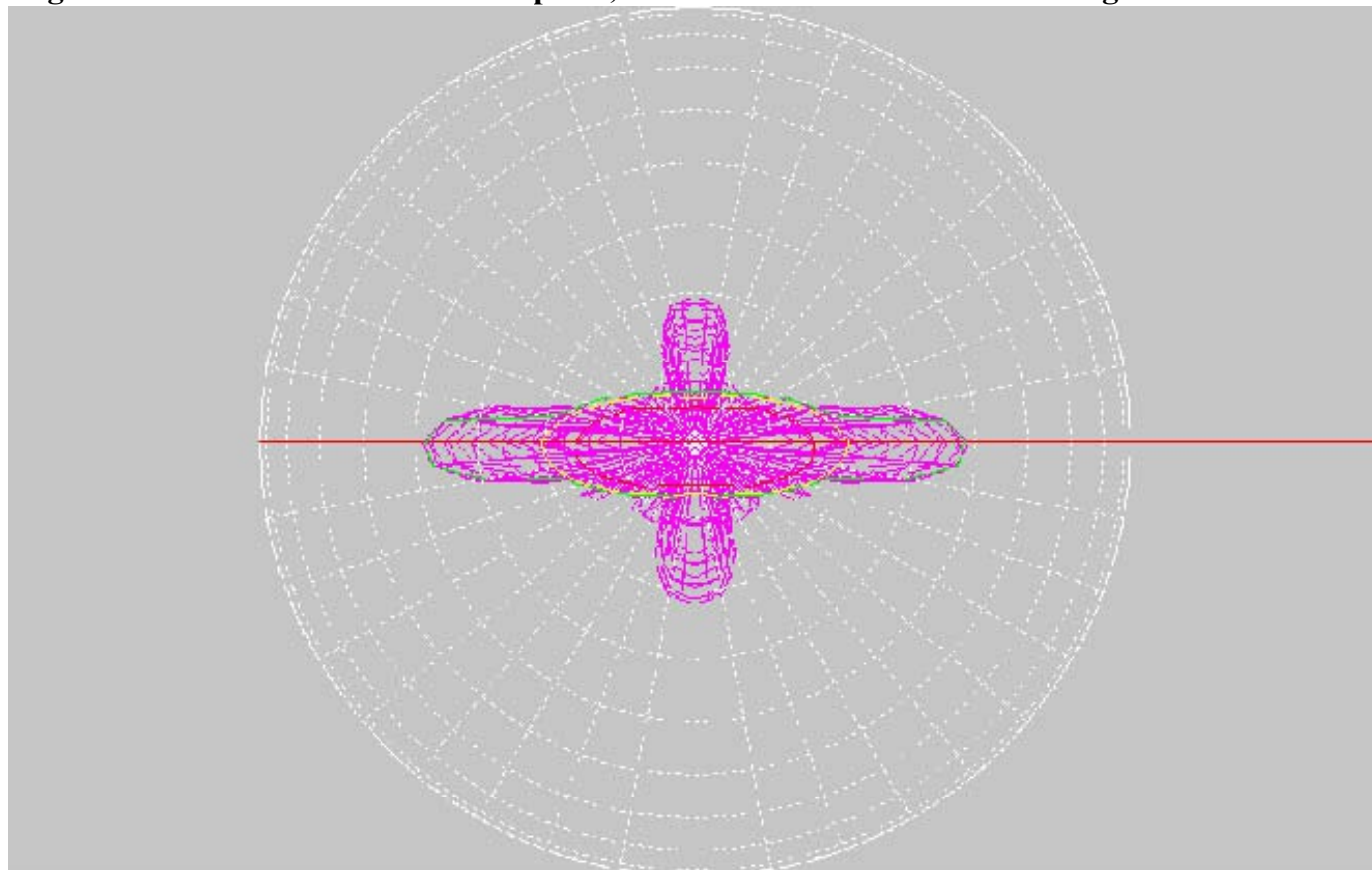


figura 6.230 balão de cobertura da pilha, vista frontal acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

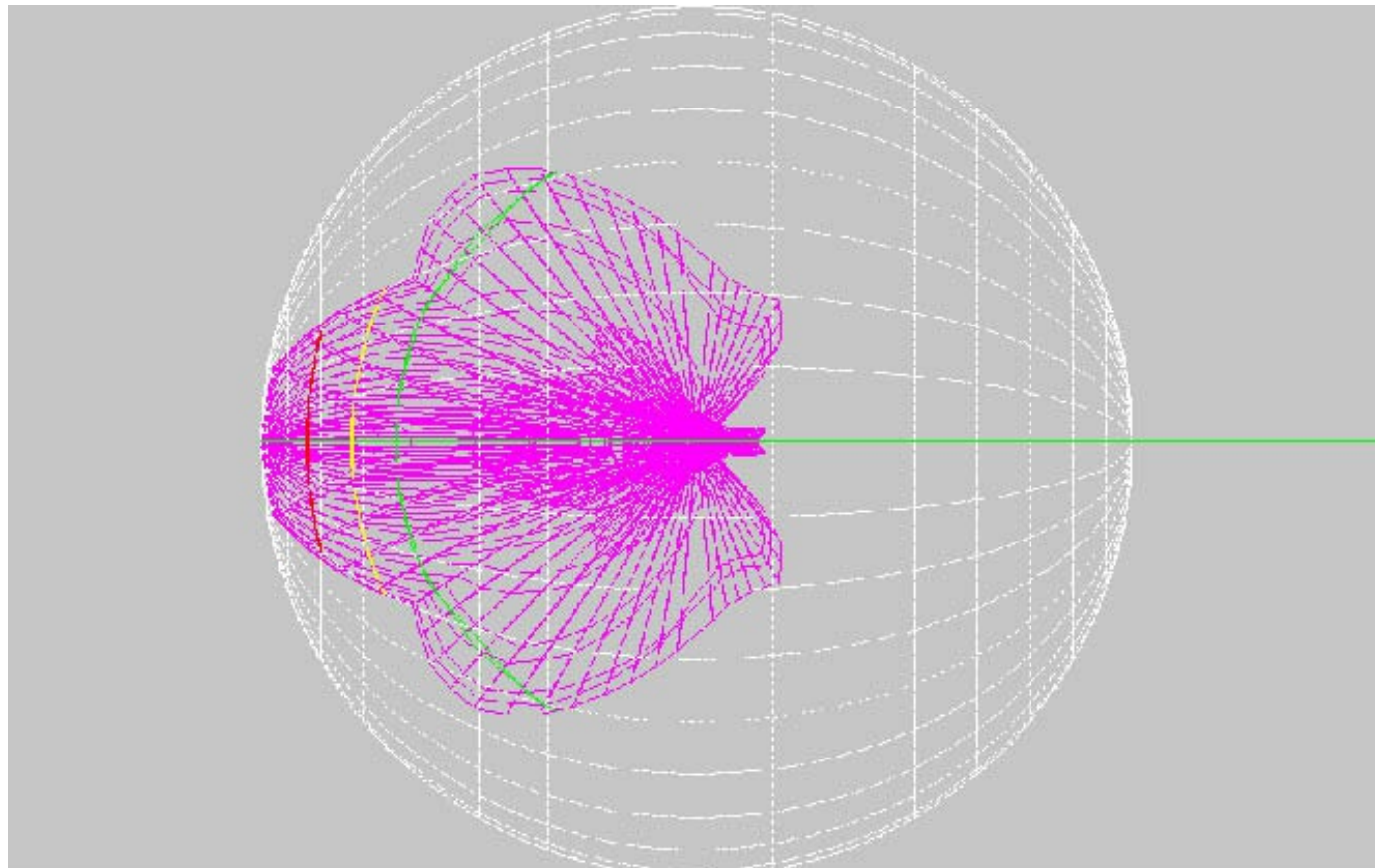


figura 6.231 balão de cobertura da pilha, vista superior acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

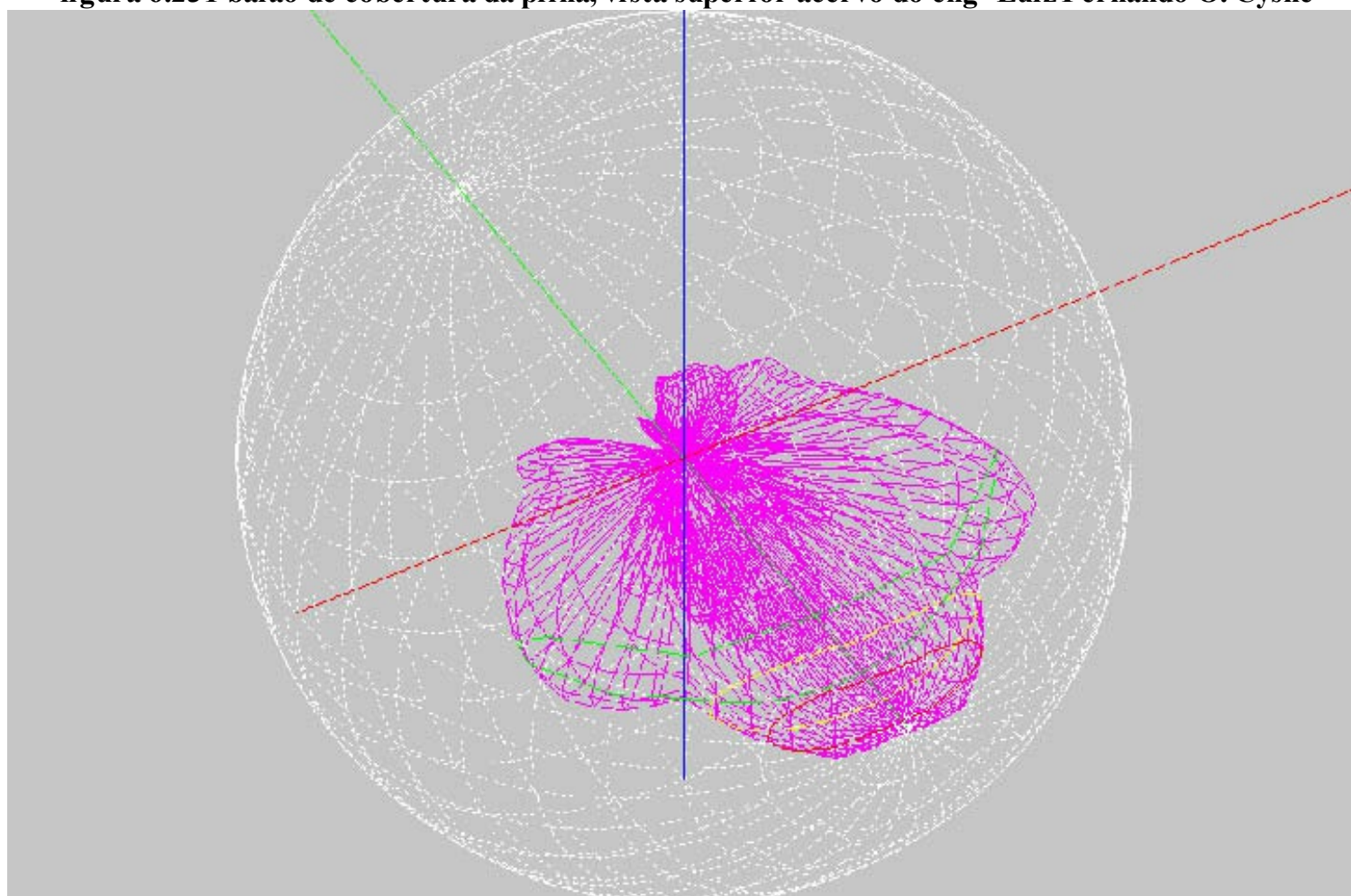


figura 6.232 balão de cobertura da pilha, perspectiva vista pelo lado esquerdo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

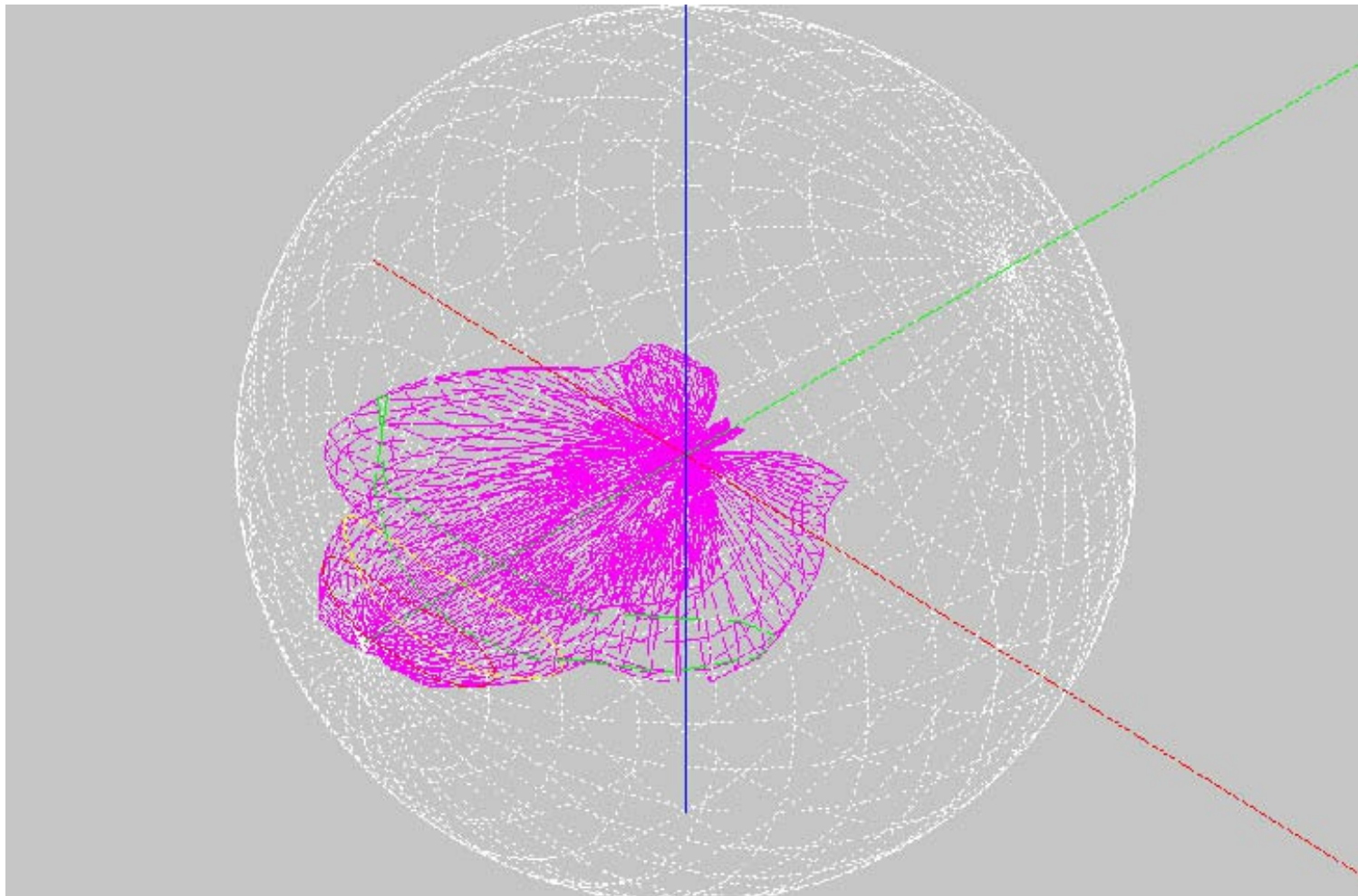


figura 6.233 balão de cobertura da pilha, perspectiva vista pelo lado direito acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

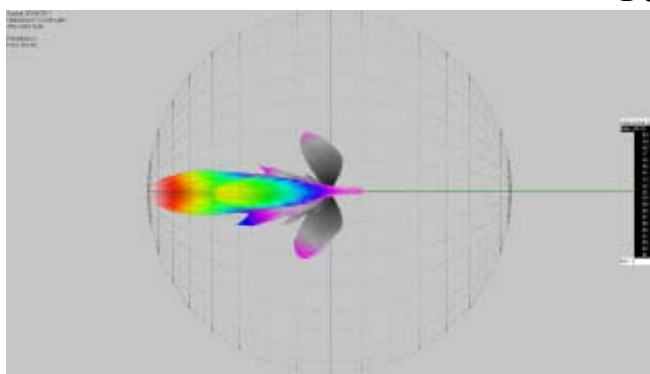


figura 6.234 balão de cobertura da pilha, vista lateral esquerda renderizada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

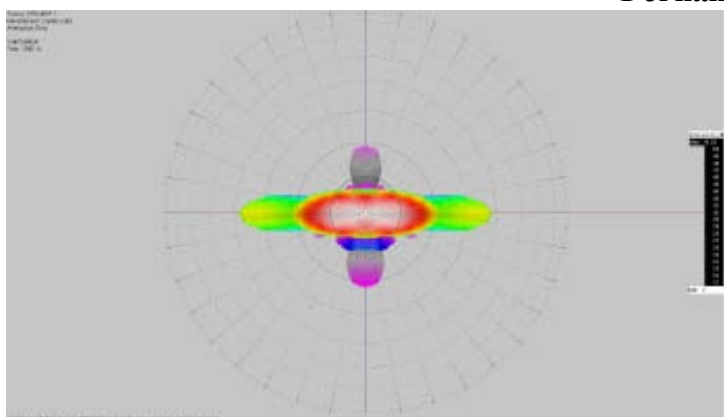


figura 6.235 balão de cobertura da pilha, vista frontal renderizada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

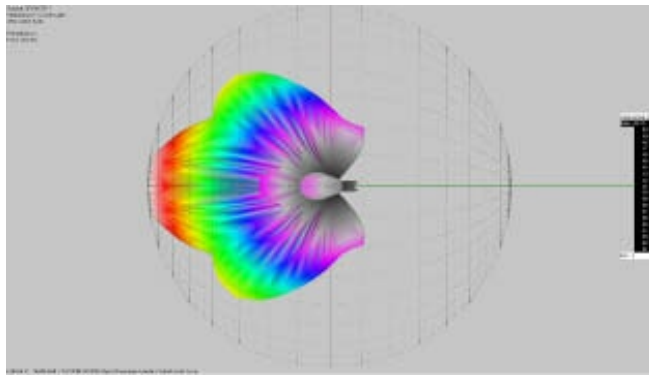


figura 6.236 balão de cobertura da pilha, vista superior renderizada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

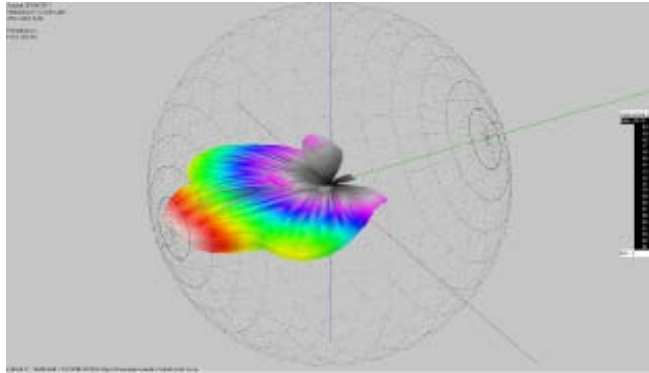


figura 6.237 balão de cobertura da pilha, perspectiva vista pelo lado direito, renderizada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

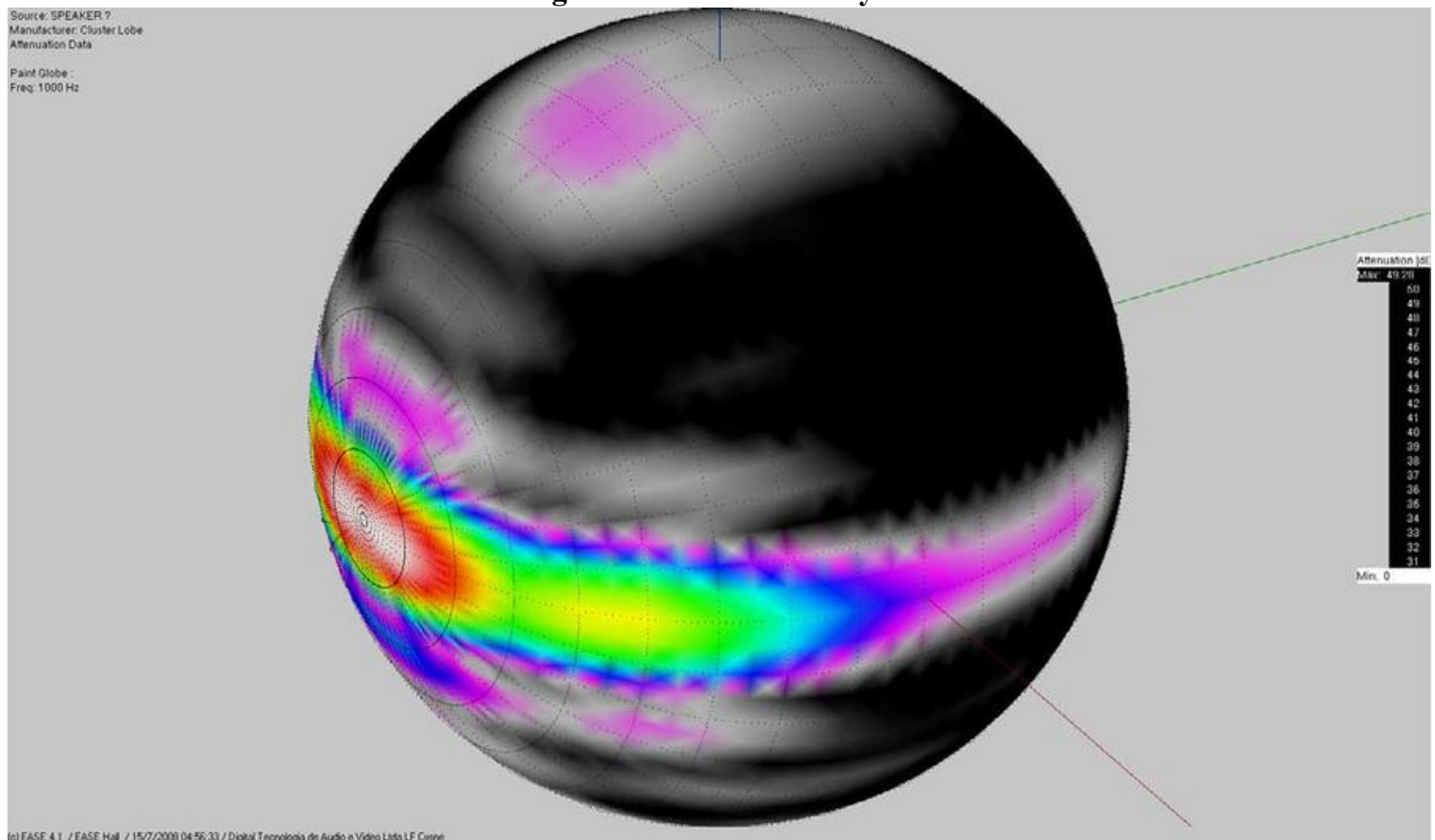


figura 6.238 balão de cobertura 3D da pilha, com latitudes e longitudes isodinâmicas, com renderização acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

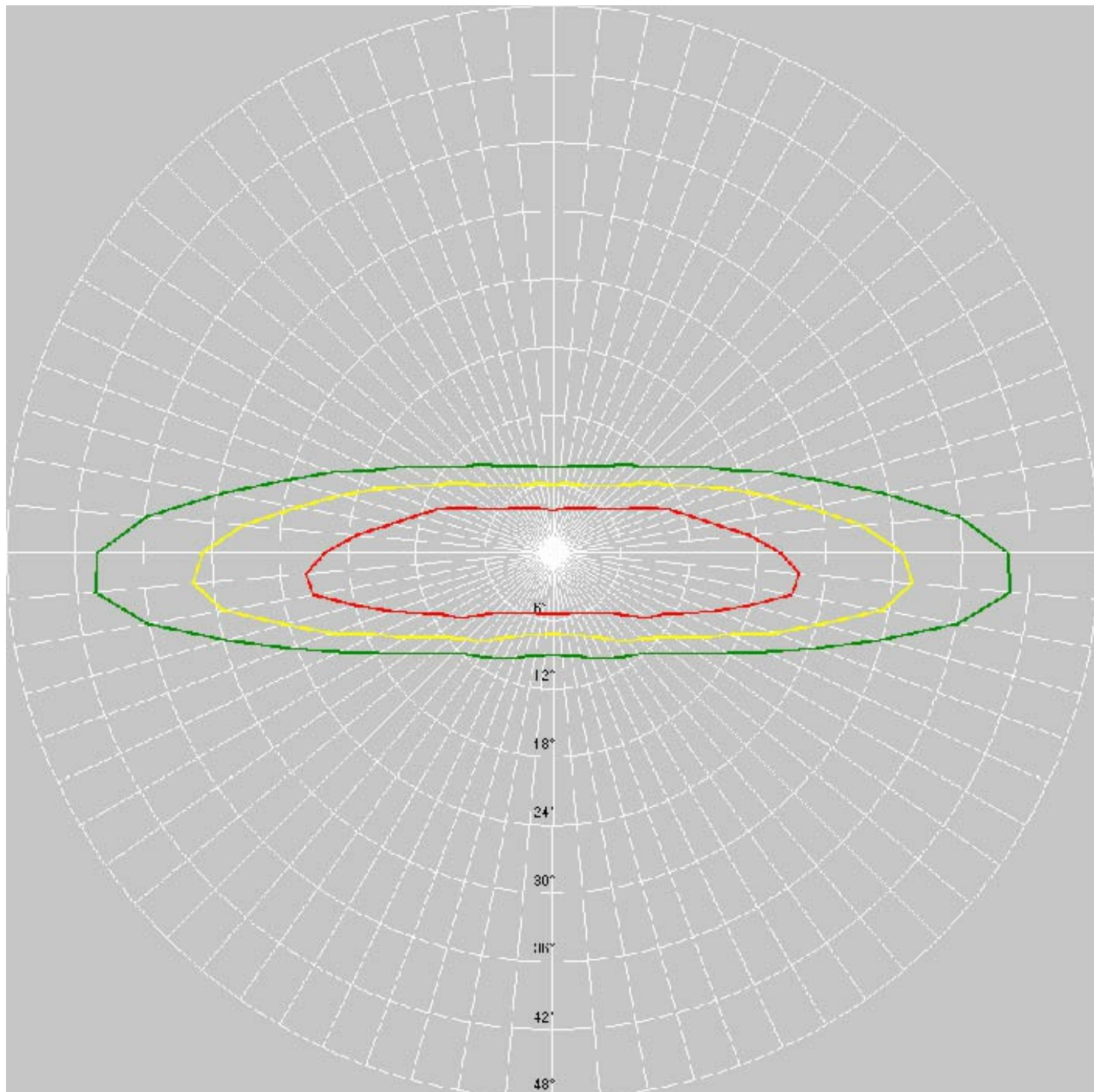


figura 6.239 padrão de cobertura da pilha, isolinhas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Satisfeito com o comportamento da pilha desenhada, envolvendo quantidade de caixas acústicas, formato geométrico das pilhas bem como ângulos relativos entre os eixos principais de cada uma das caixas componentes da pilha, é hora de dar o próximo passo.

Lembro que a escolha também passa por marca e modelo das caixas acústicas. Muitas vezes se parte para as investigações com uma determinada caixa acústica em mente, mas ao longo do processo se verifica que ela precisa ser substituída por outra, cujas propriedades eletroacústicas são parecidas, mas não iguais. Nesses casos, a diferença pode ser pequena, mas o suficiente para atingir os resultados esperados.

Compete ao projetista, com base em seu conhecimento, experiência e domínio da engenharia de áudio, não só escolher as caixas acústicas e configurar as pilhas, tudo de forma adequada para o trabalho em curso mas, principalmente, onde localizar os falantes.

É claro que se numa primeira tentativa os resultados não forem integralmente satisfatórios,

será possível promover os ajustes necessários durante a fase de simulações.

Entretanto, por vezes os resultados se afastam tanto do que se pretende que o programa sinaliza, a seu modo, que há erros vitais de dimensionamento. Nesses casos, o melhor é recomeçar do modo correto. E que é exatamente o modo correto? No que se refere a cobertura acústicas e localizações de falantes, tudo aquilo que discutimos sobre isso até este momento.

Usando a ferramenta para adicionar falantes, simplesmente escolhemos os pontos onde queremos que eles fiquem localizados. Para isso, trabalha-se com as coordenadas X, Y e Z.

A partir de então, podemos editar separadamente cada falante. Mas é preciso lembrar que isso implica em ter que refazer as simulações das “novas” pilhas.

Sim, porque variações angulares ínfimas podem produzir grandes alterações no comportamento das pilhas.

Usando a base de dados dos falantes, podemos aplicar exatamente o modelo desejado. Vale ressaltar que periodicamente todos os principais fabricantes apresentam dados novos, correspondentes a lançamentos recentes, com o objetivo único de atualizar a base de dados do EASE.

Uma vez determinada a pilha a ser utilizada, podemos determinar seu direcionamento espacial, estabelecendo ângulos horizontal, vertical e “tilt”, que é o ângulo de rotação do falante em torno de seu próprio eixo principal. Para a direita ou para a esquerda. Também podemos editar a localização e as orientações dos falantes.

Essa etapa não apresenta quaisquer dificuldades. Até porque quando qualquer programa de apoio é utilizado por um projetista experiente, todos os principais dados de projeto já são conhecidos. Ou na pior das hipóteses, já estão em estágio bem adiantado de definição. Isso inclui uma boa ideia de localização preliminar dos falantes, clusters e/ou pilhas, bem como das respectivas orientações espaciais.

Para facilitar ainda mais o trabalho, podemos ver no modelo virtual as curvas isobáricas de quaisquer alto-falantes, caixas acústicas, clusters ou pilhas, cujas informações estejam inseridas na base de dados.

Para completar a modelagem, criamos a área de audição nos planos dos ouvidos das pessoas e determinamos o local de um ou mais ouvintes no recinto, chamando-os de pontos de prova. A região de audição é um segmento de plano localizado acima do piso com altura “default” de 1,20 metros. Entretanto, podemos editar qualquer coisa da qualquer área de audição. Inclusive a altura.

Com a modelagem concluída e, antes de partir para as investigações eletroacústicas do espaço, podemos visualizá-lo com uma grande variedade de detalhes.

O menu suspenso view menu oferece as seguintes alternativas: speaker view, spectator

view, external view, auralization, area layout, screen files, gather slides, color maps, palette VGA, save color map e load color map entre outros.

Ativando o speaker view, teremos como resposta uma perspectiva 3D do espaço, como vista pelo falante. E sobre essas superfícies que o falante “enxerga”, também são desenhadas as curvas isobáricas do falante selecionado. A tela indica as posições de todos os falantes. E assim, podemos escolher quaisquer deles para esta investigação. E ainda, ver separadamente as curvas isobáricas para cada uma das sete oitavas de trabalho. Isto é, 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 ou 8.000 Hz.

Naturalmente, se entendemos que o direcionamento de qualquer falante está inadequado, podemos simplesmente editar sua posição e verificar, imediatamente, quais são os novos resultados obtidos.

A figura 6.240 mostra uma janela de edição de falante, no caso o que foi denominado LA.

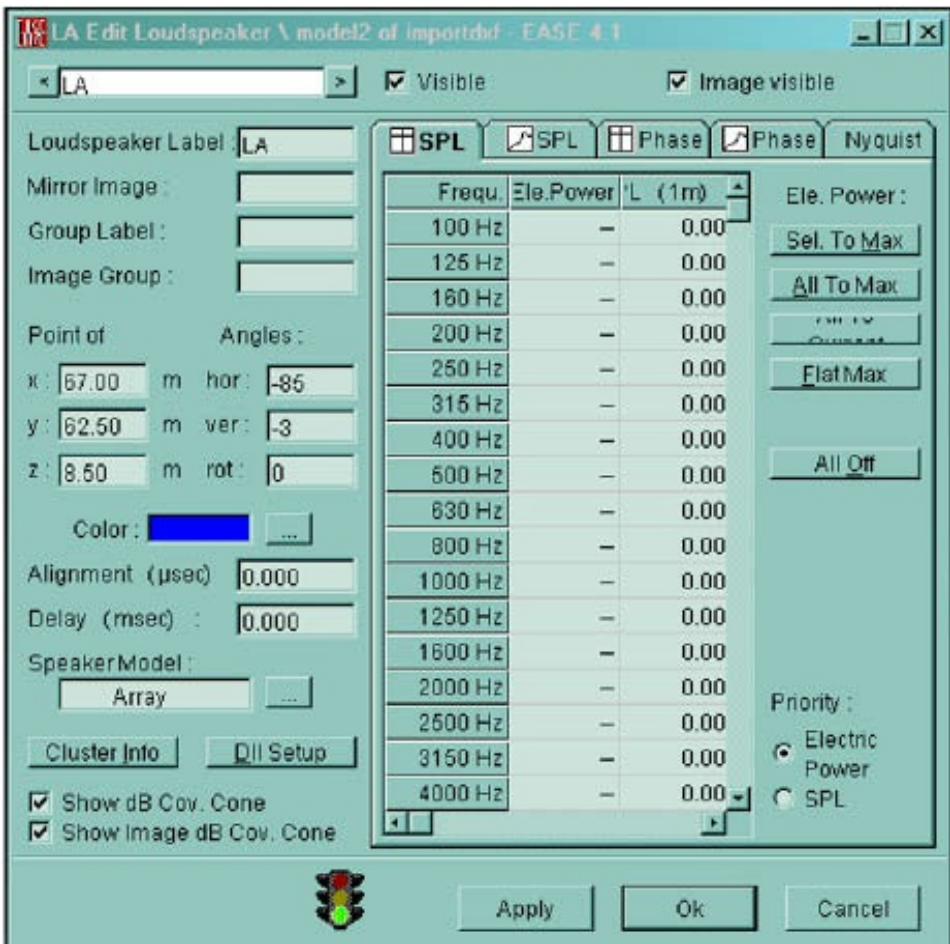


figura 6.240 janela de edição de caixa acústica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Note que além de editar a posição da caixa acústica com seus pontos “x”, “y” e “z”, também é possível editar os ângulos de direcionamento horizontal e vertical, bem como “tilt”, chamado rotation no EASE.

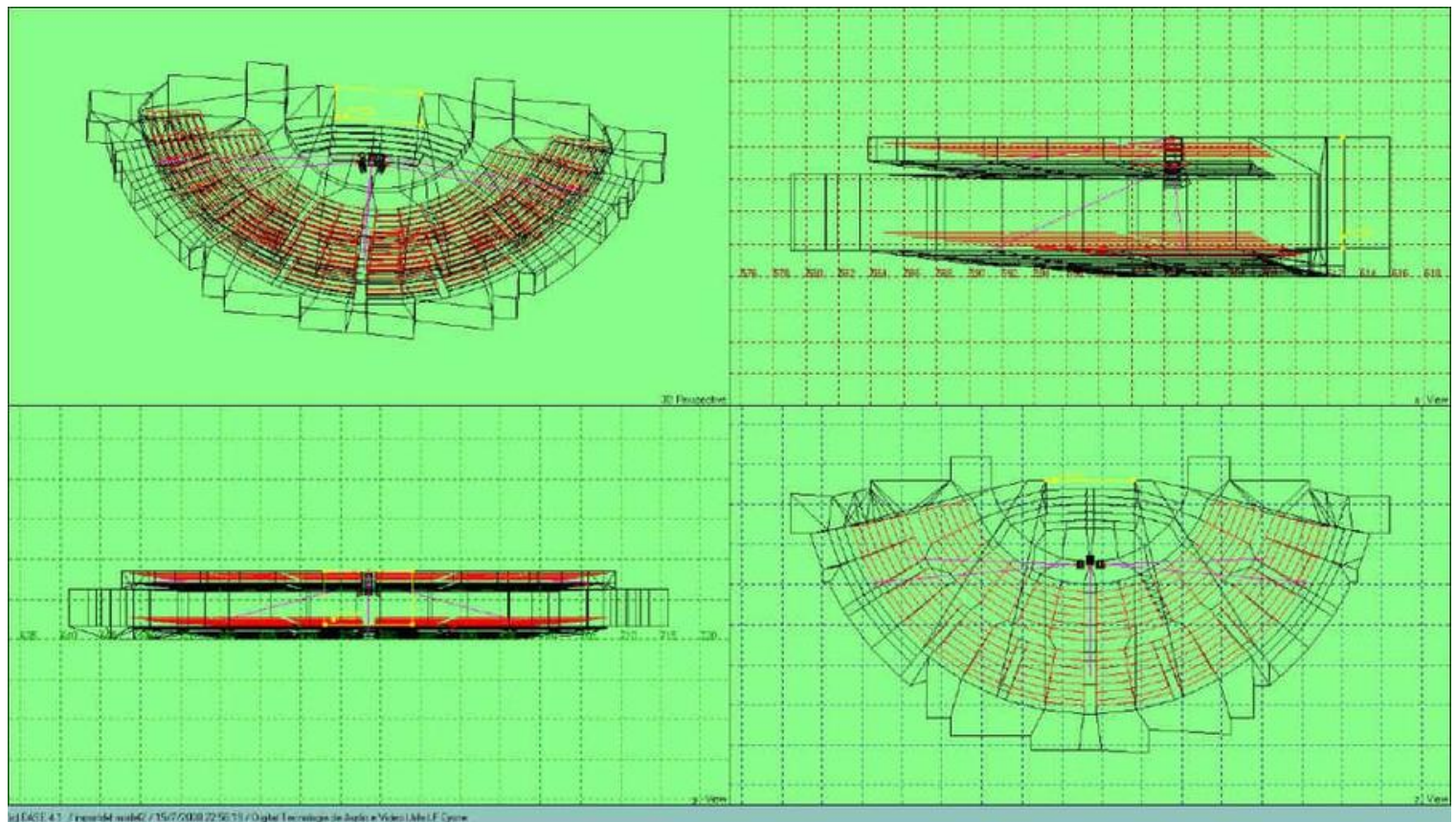


figura 6.241 aí estão uma vista em perspectiva, uma vista lateral, uma vista frontal e uma vista superior. Note que em todas elas aparecem as pilhas especificadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vale a pena estudar um pouco mais cada item que pode ser editado nessa janela.

Uma vez posicionadas todas as caixas acústicas, estando elas espacialmente orientadas, podemos ter uma ideia mais global dos posicionamentos em relação a todo o espaço, com várias vistas, como mostra a figura 6.241.

Podemos aplicar zoom a cada uma das imagens, sem limites reais ou virtuais. O que possibilita fazer análises de pequenas variações com muita acuidade. Por sinal, é o que mostra a figura 6.242.

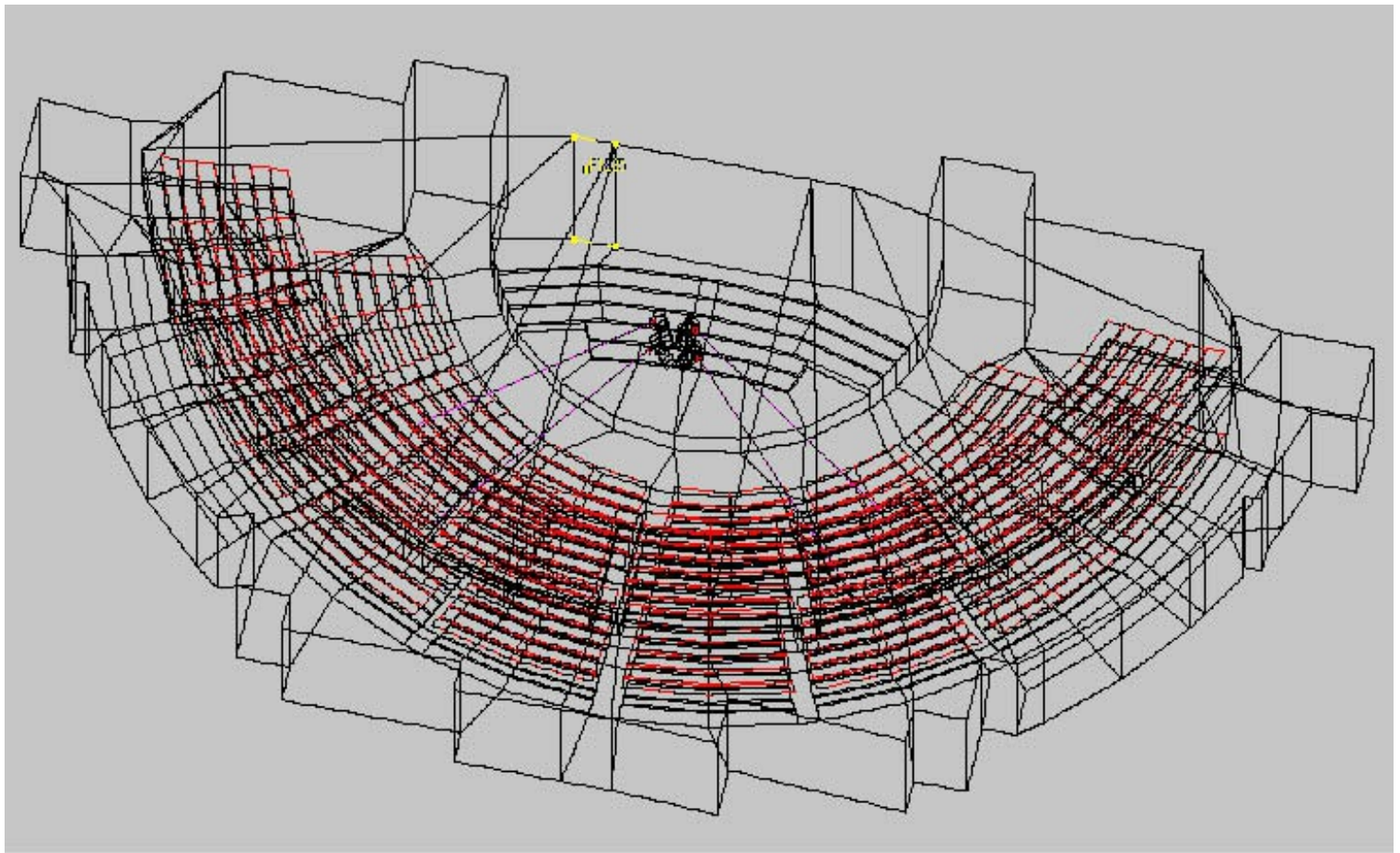


figura 6.242 zoom aplicado à vista em perspectiva. Veja como os detalhes das pilhas line array começam a ser fazer de forma muito mais clara e evidente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isto feito, podemos começar a simular a parte eletroacústica. Ou seja, como as pessoas vão ouvir as caixas acústicas em sua localizações e orientações espaciais, já com o concurso da acústica da sala com seus novos Tempos de Reverberação.

Os recursos screen files e gather slides são utilizados em conjunto para a criação de apresentações especiais, formadas por telas que já tenhamos salvado. Podemos preparar shows de slides com temporização automática ou manual, adicionar textos, fazer arranjos, e até mesmo utilizar outros programas para a apresentação, a exemplo do PageMaker, do PowerPoint ou do Quark Express.

O recurso color maps está relacionado com a geração de desenhos BitMap.

O Palette VGA possibilita que alteremos as cores de arquivos screen files. Save color map permite salvar ajustes customizados de color maps. E finalmente, load color maps é usado para carregar tais ajustes customizados.

Mas a investigação mais profunda da sala começa com os recursos de dois menus suspensos, denominados CALC e RAYS.

Uma vez acionado o menu CALC, temos as seguintes opções: edição do setup, edição dos falantes, edição das áreas, edição dos assentos, mapeamento, plot do $AL_{CONS}^{\%}$, beam show e post file.

As edições possibilitam alterar inúmeros parâmetros de trabalho, a exemplo da frequência central da banda de oitava com a qual queremos trabalhar, entre as sete mencionadas anteriormente.

A propósito, podemos escolher apenas uma banda de cada vez, mas também trabalhar sequencialmente para obter resultados com todas elas.

Ao clicar no mapeamento, surge na tela uma caixa de diálogo, através do qual podemos seleccionar o que queremos investigar. Entre as possibilidades estão o direcionamento dos falantes, a primeira onda frontal, o ITDG, o SPL direto, o SPL total, os Índices de Claridade C7, C50, e C80, o $AL_{CONS}\%$ e o RASTI. Os detalhes sobre os Índices de Claridade, sobre o $AL_{CONS}\%$ e o sobre o RASTI, estão no item 6.4.2.10, anterior.

Para cada uma dessas alternativas podemos trabalhar com um ou mais falantes, com uma ou com várias áreas de audição, com quaisquer das sete bandas de frequências de trabalho, com ou sem interferência, e com ou sem “shadow cast”.

Trabalhar sem interferência gera dados sem informações de fases. Inversamente, com interferência, os dados incluirão todas as informações das fases, determinadas por efeito de sobreposições coerentes das ondas de som.

Sem o “shadow cast”, o programa ignora eventuais obstáculos interpostos à propagação do som. E com ele ativado, todos os obstáculos são considerados.

Quanto à apresentação dos resultados, podemos ter as informações referentes às áreas da plateia seleccionadas, desenhadas com pinturas 2D, ou com plots 2D, ou com plots 3D, ou com patches 2D, ou com grids 3D.

É importante mencionar que podemos estabelecer a resolução que queremos para todas as figuras produzidas. Nesse sentido, resolução significa qual o menor elemento de área desejado. Naturalmente, quanto maior for a resolução, mais tempo de processamento será necessário.

Por processos manuais, a praxe é calcular a inteligibilidade nos locais mais afastados do falante, isto é, para a distância D_2 , onde ela é usualmente a pior de todo o recinto.

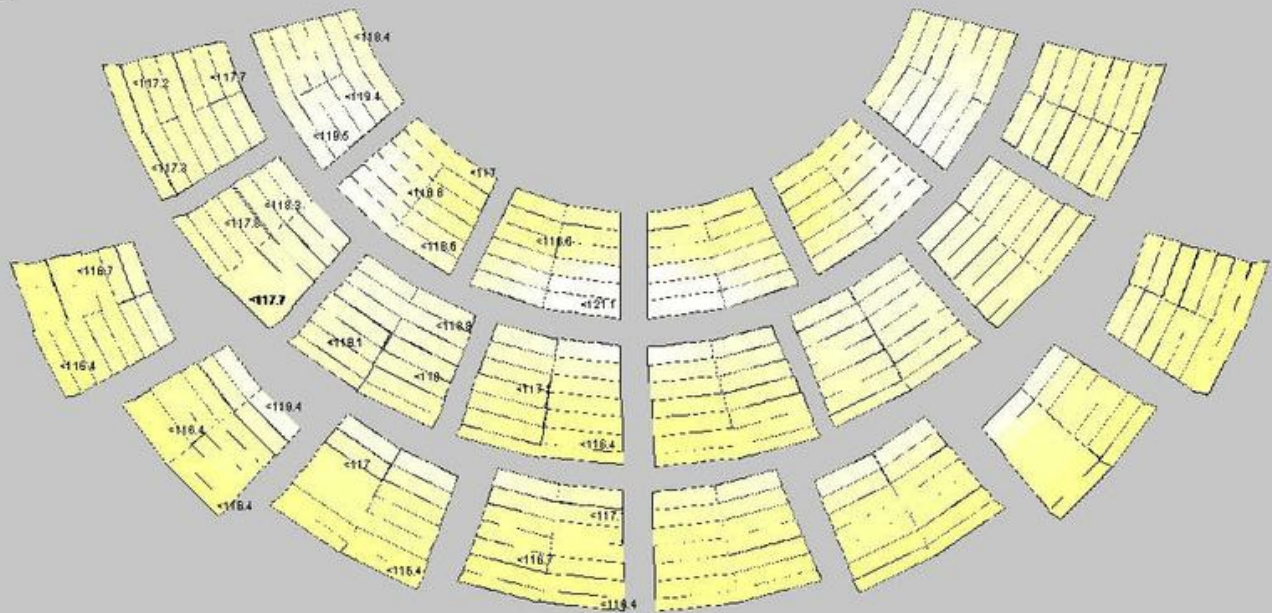
Vejamos então exemplos de figuras obtidas na etapa de pré projeto da Igreja Evangélica Assembleia de Deus do Plano Piloto, Brasília, DF.

Podemos pesquisar o campo direto sozinho, o campo reverberante sozinho ou o campo total, que a soma dos anteriores.

A figura 6.242 mostra essa simulação.

O recurso area layout é utilizado para quando o espaço é geometricamente complexo, por exemplo com balcões superpostos às áreas de audiência. Então, podemos mover as superposições para efeito de apresentação de resultados.

Os dois arcos superiores na figura 6.243 correspondem às poltronas no andar térreo. O arco inferior na figura corresponde às poltronas do balcão.



Impressant 4.1 / Importar model2 / 15/7/2008 22:53:13 / Digital Tecnologia de Audio e Video Ltda UF Cysne

figura 6.243 simulação do campo de som total para toda a plateia dos andares térreo e balcão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja na figura que os níveis de pressão sonora estão assinalados em vários locais. Assim, além da escala de cores, que já mostra os diversos níveis envolvidos, podemos associar a cada local desejado o correspondente nível de pressão sonora. Mostro apenas a metade esquerda já que os resultados se mostraram simétricos dentro de limites muito estreitos.

No caso da figura 6.243, estamos simulando com sinal de uma oitava, centrada em 1 kHz. Essa pesquisa deve ser estendida para todas as oitavas que o EASE permite. Em caso de ser necessário melhor resolução, podemos fazer o mesmo com bandas de apenas 1/3 de oitava.

Processados inúmeros cenários com múltiplas bandas de oitavas, chegamos à resposta de frequência da figura 6.244.

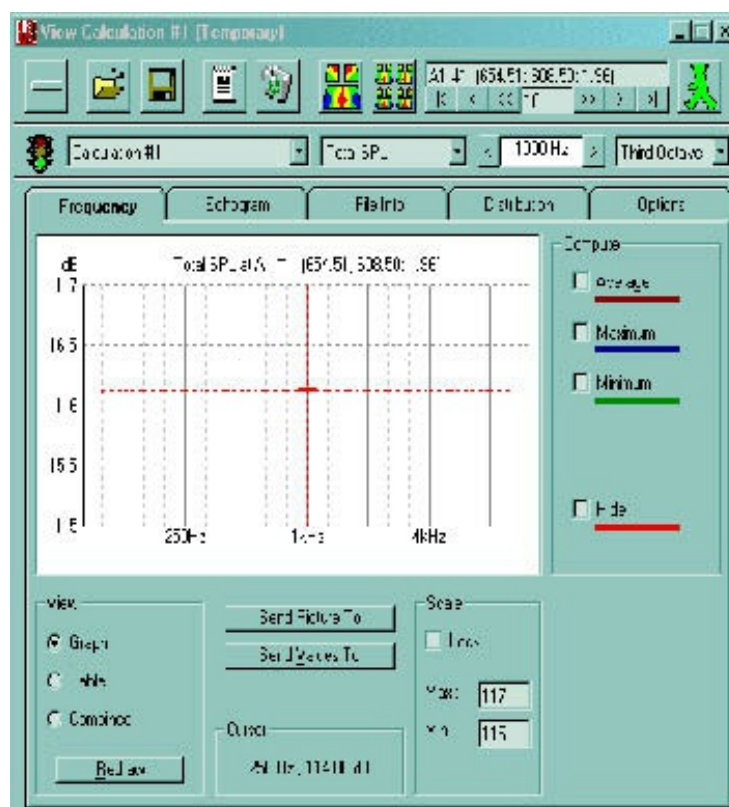


figura 6.244 simulação de resposta de frequência média para um observador situado na área A1 (lateral esquerda da nave), para o espectro de 125 Hz a 8 kHz acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne. As simulações mostraram que essa resposta é aproximadamente a mesma que se obtém em praticamente qualquer ponto de observação da área A1, bem como em qualquer outro local do templo, seja no pavimento térreo, seja no balcão.

A etapa que vem a gora é uma das mais importantes em quaisquer dimensionamentos eletroacústicos. Pois vamos pesquisar inteligibilidade da palavra. Através do Índice Percentual de Perda de Articulação Consonantal. Ou $AL_{CONS}\%$ para os mais íntimos.

Então vamos para a figura 6.245.

Ela mostra a simulação de inteligibilidade em todas as áreas onde estão as poltronas. Como se percebe claramente na figura.

Para analisar esses dados podemos nos valer da escala colorida apresentada no lado direito da figura, graduada em dB SPL.

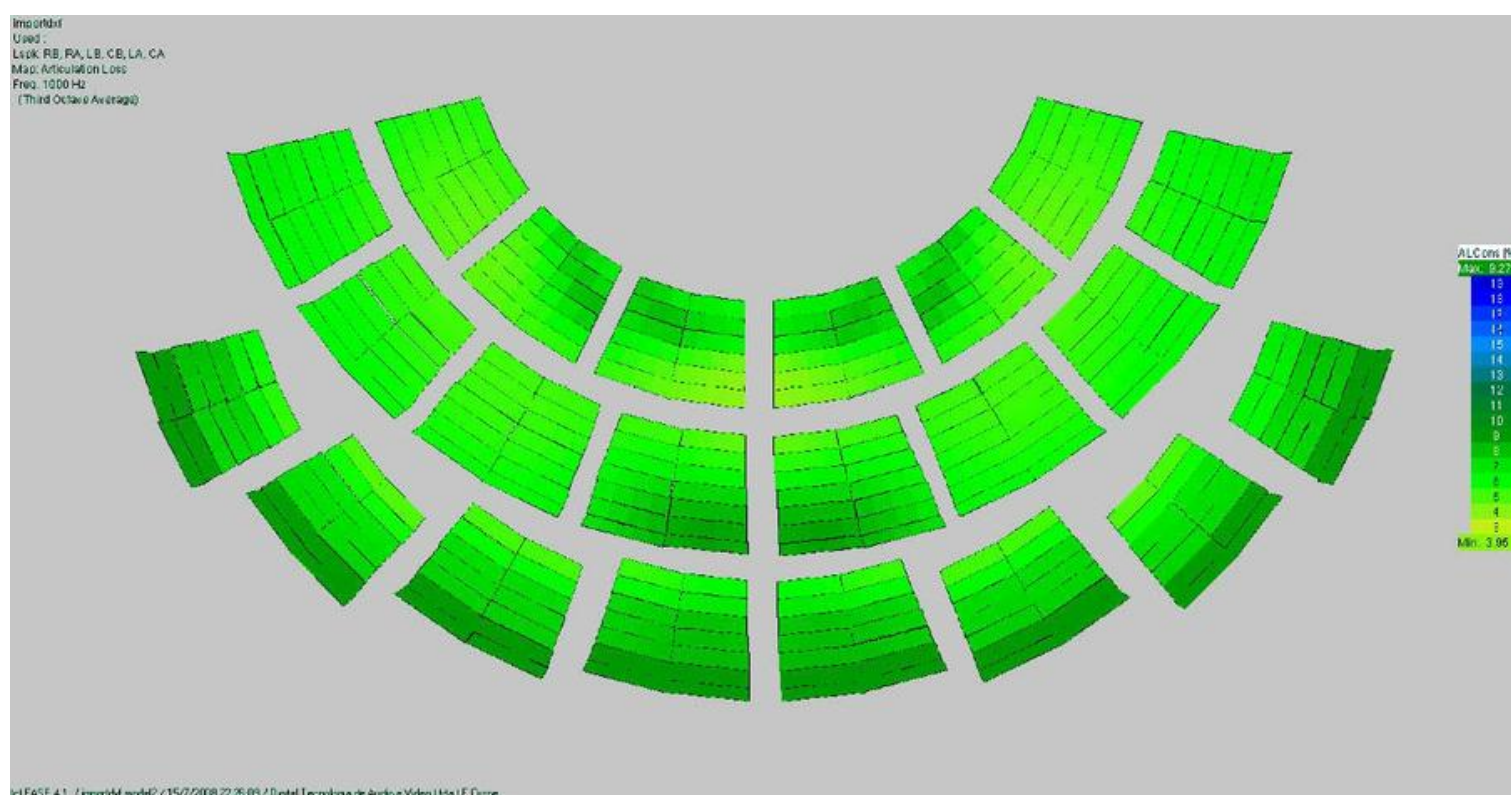
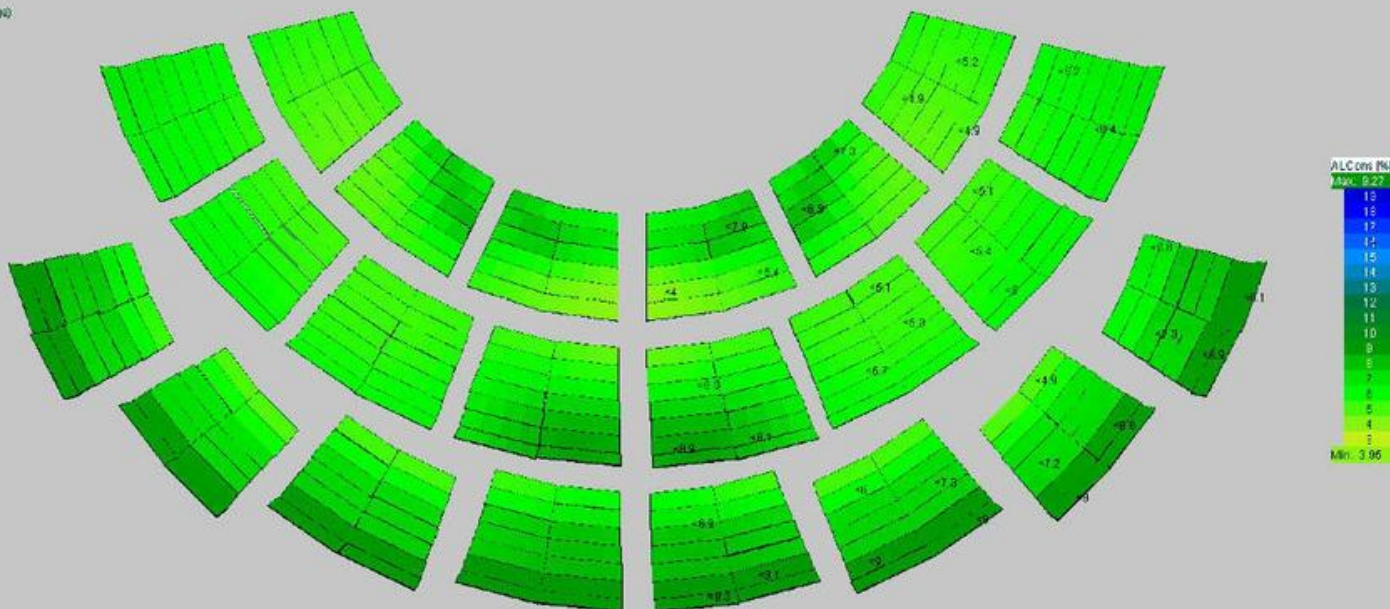


figura 6.245 simulação de inteligibilidade da palavra para toda a plateia no pavimento térreo e no balcão (arco inferior na figura) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne. Entretanto, isso pode ser um pouco difícil para quem tem pouca experiência. Por essa razão o EASE permite usar um outro recurso.

Trata-se de associar os $AL_{CONS}\%$ a cada local específico.

É que mostra a figura 6.246.

Imported
Used:
Lspk: RB, RA, LB, CB, LA, CA
Map: Articulation Loss
Freq: 1000 Hz
(Third Octave Average)



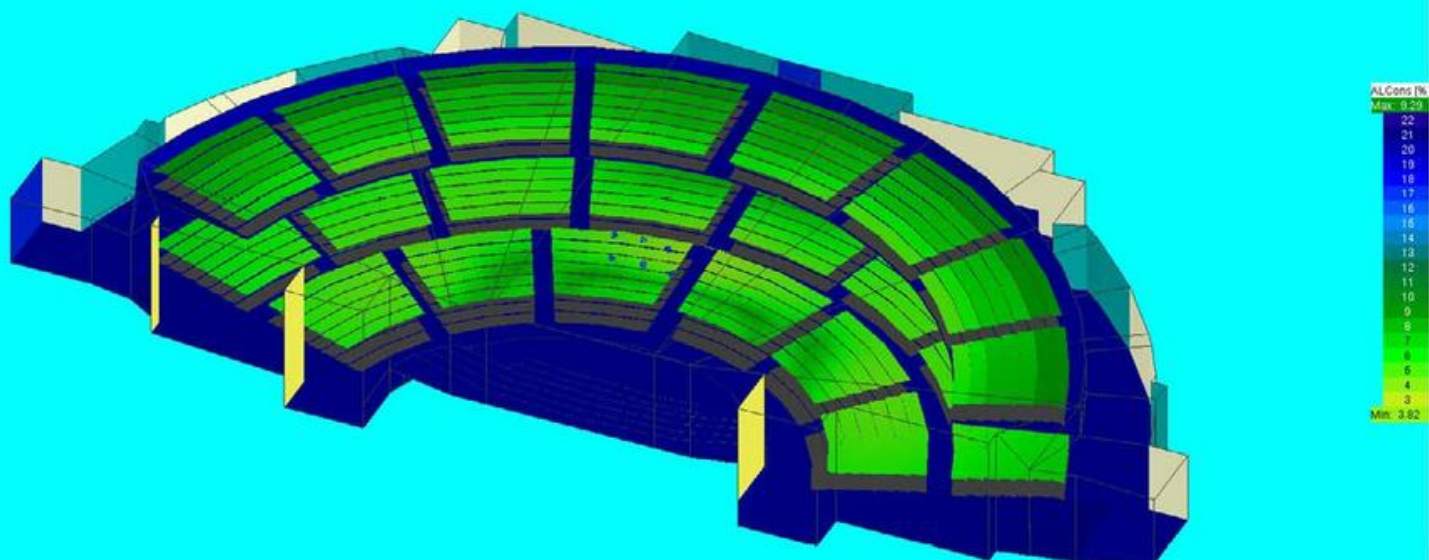
ic) EASE 4.1 / ImportM model2 / 15/7/2008 22:31:45 / Digital Tecnologia de Audio e Video Ltda LF Cysne

figura 6.246 simulação de inteligibilidade da palavra para toda a plateia no pavimento térreo e no balcão, com os índices assinalados na parte direita da figura acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Os elementos da figura 6.246 informam que a pior marca de AL_{CONS} % é 9,3%. O que é um excelente resultado para qualquer igreja do mundo.

As mesmas informações da figura 6.247 podem ser apresentadas de modo renderizado, o que possibilita melhor visualização de toda a inteligibilidade no espaço considerado.

É o que exhibe a figura 6.247.

View: 30° Hor: 24°
Lspk: RB, RA, LB, CB, LA, CA
Project: ddf b 0201
Map: Articulation Loss
Freq: 1000 Hz
(Third Octave Average)
Shadow Cast: No
Resolution: 1.00 m



ic) EASE 4.1 / ImportM model2 / 15/7/2008 22:46:09 / Digital Tecnologia de Audio e Video Ltda LF Cysne

figura 6.247 simulação de inteligibilidade da palavra para toda a plateia no pavimento térreo e no balcão, apresentada com renderização acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Já vimos que diferentes bandas de oitavas tem mais peso do que outras na contribuição para a inteligibilidade da palavra. O EASE possibilita que investiguemos esse particular aspecto com mais detalhes. É o que mostra a

figura 6.248.

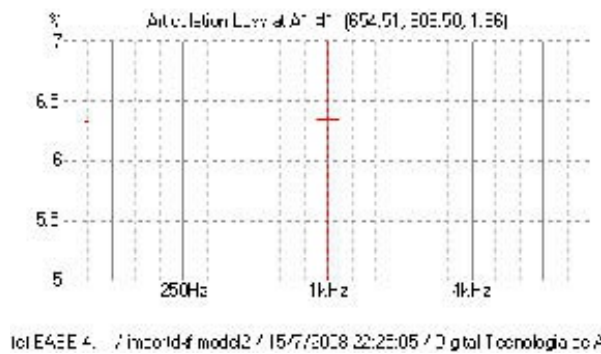


figura 6.248 variação de $AL_{CONS}\%$ em função de frequência, para um observador arbitrariamente localizado na área A1 da plateia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra coisa muito importante é conhecer quanto de toda a plateia será beneficiada com os melhores parâmetros de inteligibilidade, quanto com os parâmetros intermediários e assim por diante.

Note que para o caso específico desta igreja, como o pior índice de inteligibilidade é considerado tecnicamente muito favorável, essa distribuição não é tão importante quanto em casos onde os piores índices estão muito próximos do limite do inaceitável.

Mesmo assim, essa distribuição pode ser facilmente calculada pelo EASE, como mostra a figura 6.249.

Veja que os melhores índices são 4 e 4,5%. Mas apenas 3% de toda a plateia usufruirá dessas marcas. Já os índices de 5 a 6% poderão ser usufruídos por 55% da plateia. Índices de 7 a 8% de perda de articulação serão usufruídos por 29% da plateia. Os piores índices, isto é, acima de 9% são alocados a 13% da plateia. Convém lembrar o que discutimos no item 6.4.2.7: “Se o $AL_{CONS}\%$ é inferior a 10%, a inteligibilidade é muito boa.”

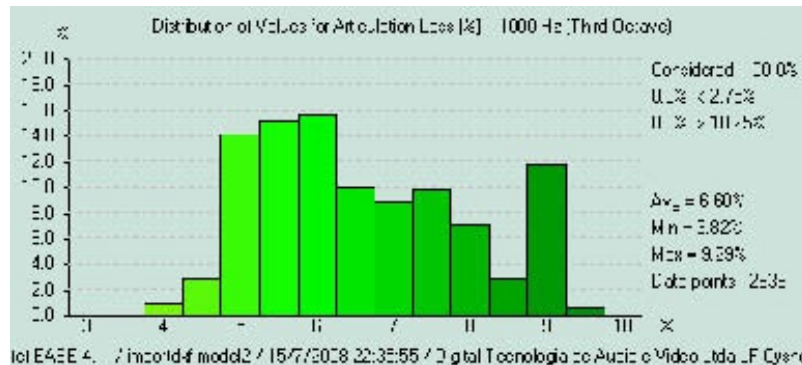
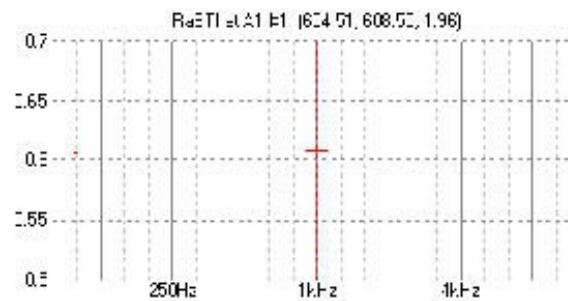


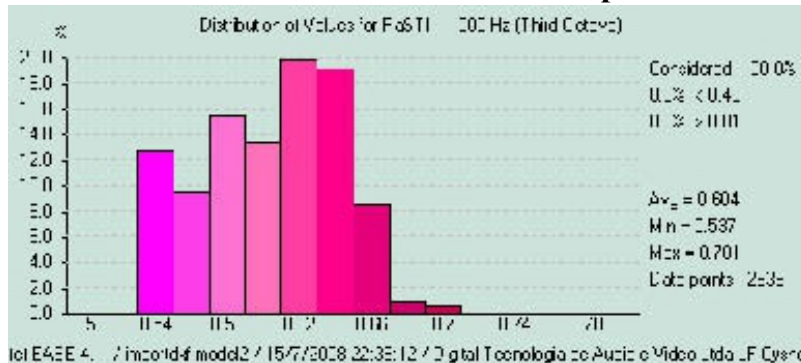
figura 6.249 distribuição dos índices $AL_{CONS}\%$ pela plateia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É bem verdade que a distribuição da figura 6.249 é feita para uma banda de 1/3 de oitava centrada em 1 kHz. Entretanto, as informações da figura permitem antecipar que essa mesma distribuição se mantém aproximadamente para quaisquer outras bandas de 1/3 de oitava consideradas, ou mesmo para bandas de oitava. Sinal de consistência do sistema.

Até aqui me referi a $AL_{CONS}\%$. Mas as simulações podem ser feitas com quaisquer outros métodos aplicáveis. Pessoalmente gosto muito de RASTI. O motivo é que, uma vez instalado o sistema, a medição é consideravelmente simples e rápida de ser feita.



lotE4EE 4. / incordid model2 / 15/7/2018 22:38:39 / Digital Tecnologia de P

figura 6.250 variação de RASTI em função de frequência, para um observador arbitrariamente localizado na área A1 da plateia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



lotE4EE 4. / incordid model2 / 15/7/2018 22:38:12 / Digital Tecnologia de Audio e Video Ltda - F Cysne

figura 6.251 distribuição dos índices RASTI pela plateia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 6.250 e 6.251 mostram aspectos já discutidos, mas agora com utilização de RASTI em substituição a AL_{CONS} %.

O recurso auralização será tratado logo adiante.

A figura 6.252 mostra um dado muito interessante. Com efeito, ela informa não só os momentos de chegada de cada um dos sinais diretos provenientes de cada uma das caixas acústicas, mas também as primeiras reflexões. Por essa razão é possível calcular os ITDGs produzidos e, a partir disso, antecipar um dos parâmetros definidores da qualidade acústica do recinto.

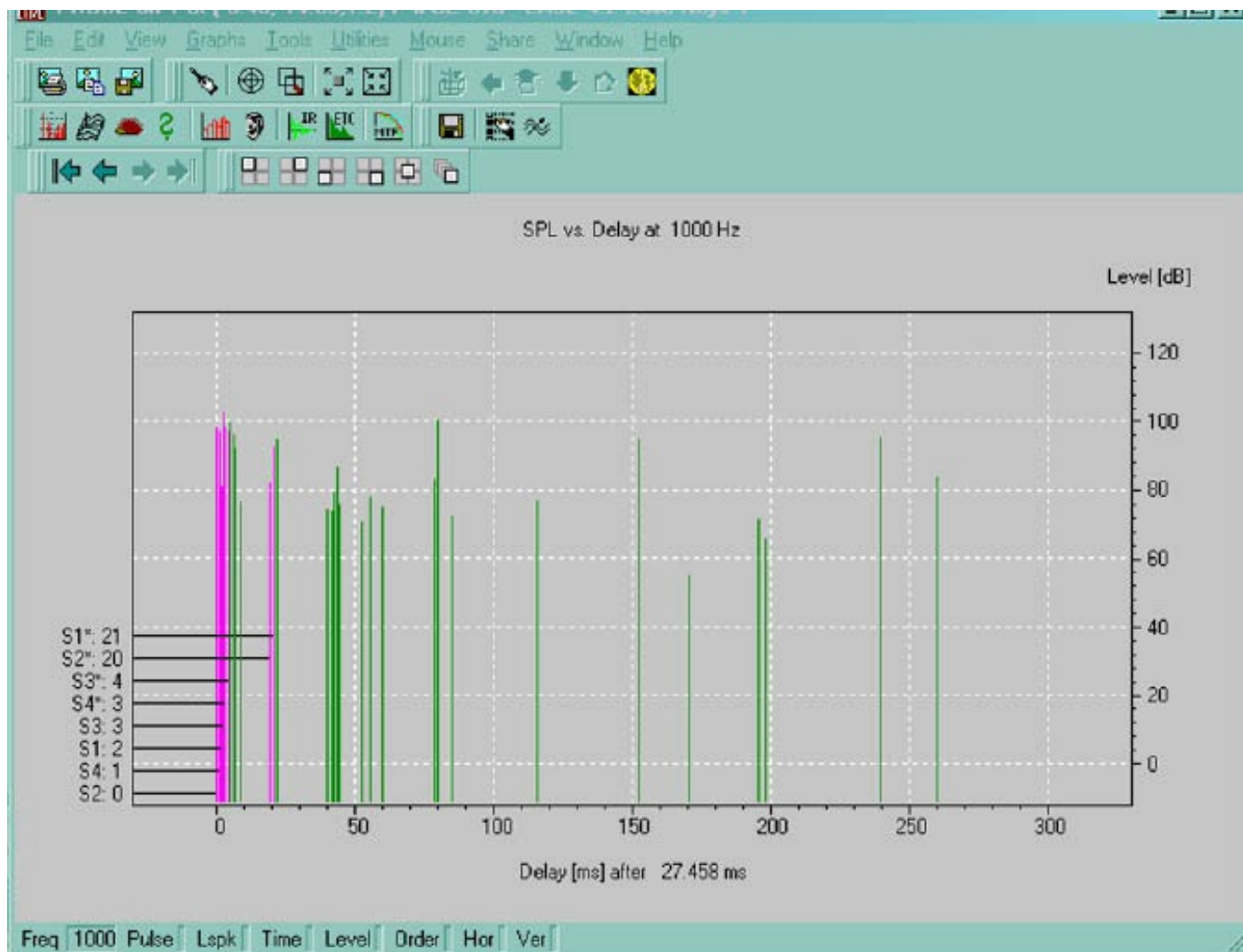


figura 6.252 tempos de chegada dos sinais diretos de algumas caixas acústicas @ 1 kHz, tomado como referência um determinado ponto de prova acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

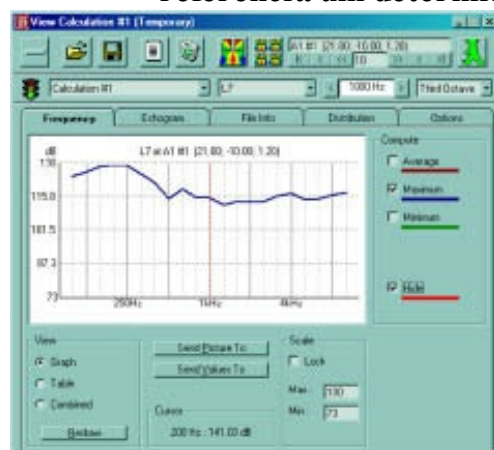
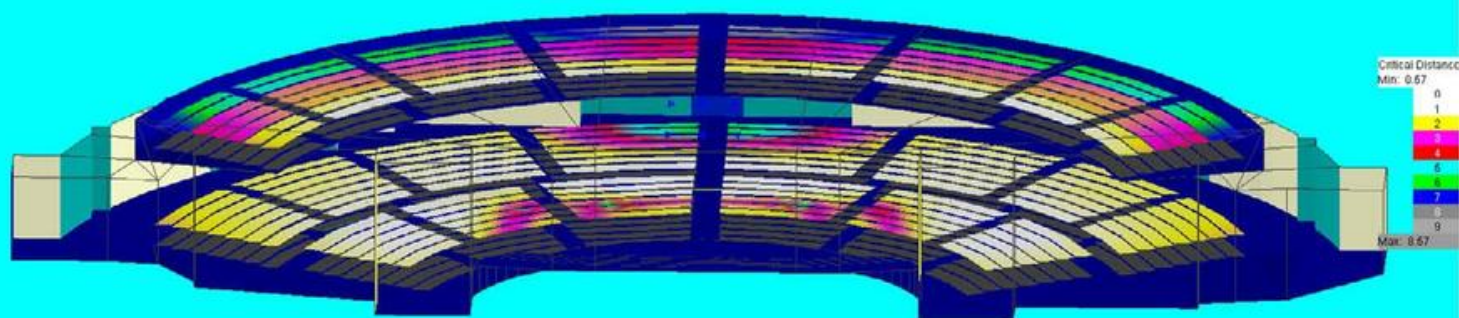


figura 6.253 simulação da resposta de frequência para ponto de prova bem afastado das caixas acústicas @ 1 kHz acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O gráfico da figura 6.253 é a simulação da resposta de frequência para um determinado ponto de prova, escolhido o mais afastado possível das caixas acústicas. Observe que acima de 500 Hz a curva é plana com variações máximas da ordem de $\pm 2,0$ dB. Abaixo de 500 Hz há um certo reforço com pico em aproximadamente 125 Hz, o que caracteriza o chamado som “warm”.

Essa característica será aplicável apenas a reforço de música, uma vez que o reforço de voz será assistido por filtros que atuam abaixo de 500 Hz de forma progressiva.

Um dos parâmetros mais importantes que se conhecer em qualquer projeto é como se comporta a distância crítica no espaço considerado. Isso é o que nos mostra a figura 6.254.

Ver: 19° Hor: 2°
 Lspk: RB, RA, LB, CB, LA, CA
 Project: diff 021
 Map: Critical Distance
 Freq: 1000 Hz
 (Third Octave Average)
 Shadow Cast: No
 Resolution: 1.00 m



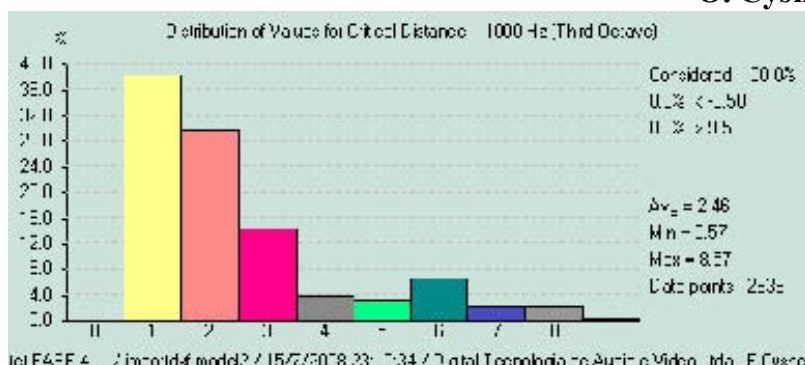
tel E4EE 4. / ImportId4 model2 / 15/7/2018 23:09:55 / Digital Tecnologia de Audio e Video Ltda LF Cysne

figura 6.254 simulação da distância crítica (C_D) numa renderização 3D, sendo que a referência cromática à direita da figura mostra como se processa a distribuição acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



tel E4EE 4. / ImportId4 model2 / 15/7/2018 23:09:23 / Digital Tecnologia de Audio e Video Ltda LF Cysne

figura 6.255 variação da distância crítica (C_D) em função da frequência acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



tel E4EE 4. / ImportId4 model2 / 15/7/2018 23: 11:34 / Digital Tecnologia de Audio e Video Ltda LF Cysne

figura 6.256 distribuição da distância crítica (C_D) pela plateia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

As figuras 6.255 e 6.256 complementam as simulações elementares sobre distância crítica.

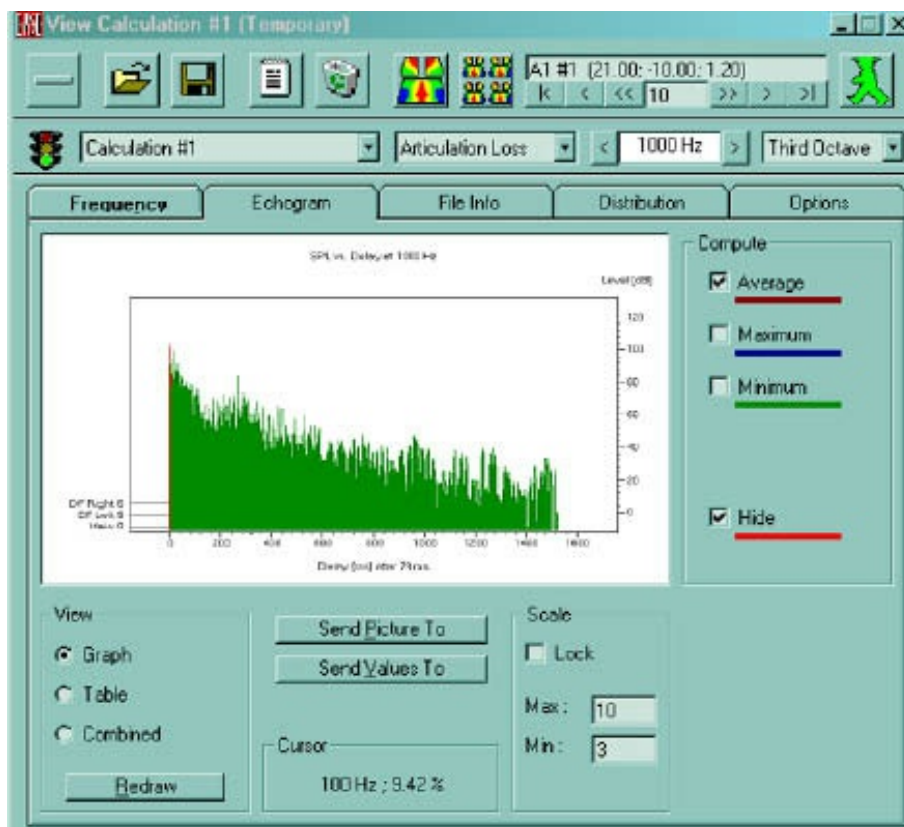


figura 6.257 simulação das reflexões médias no interior da igreja, havidas por um período de 1,5 segundo contado do momento da chegada do sinal direto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os ajustes dos padrões reflectométricos de um dado espaço exigem conhecer não só como se darão as reflexões, que é o que mostra a figura 6.257, mas também a distribuição sequencial das reflexões, produzida pelo EASE com base nas técnicas “ray tracing”.

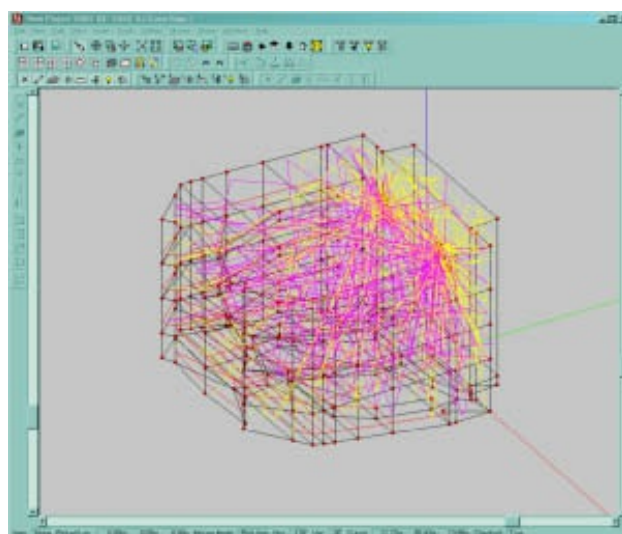


figura 6.258 Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, com raios de baixa densidade, mostrando a excelente distribuição de energia pelo recinto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Infelizmente a geometria da Igreja Evangélica Assembleia de Deus do Plano Piloto, em Brasília, DF, não possibilita figuras das técnicas ray tracing com boa visibilidade para publicação num trabalho como este. Uma vez que minha finalidade primeira é possibilitar ao caro leitor o entendimento aguçado de todos os assuntos tratados, vou me permitir utilizar figuras equivalentes do Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, que também tive a oportunidade de projetar e de liderar a instalação.

As figuras 6.258 a 6.263 mostram os detalhes. As legendas das próprias figuras informam as condições das respectivas simulações.

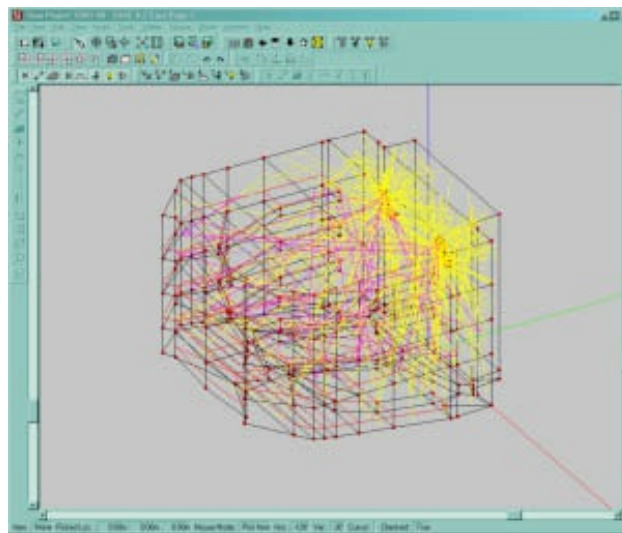


figura 6.259 Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, com raios de mais baixa densidade ainda que a figura anterior, mas também evidenciando a excelente distribuição de energia pelo recinto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

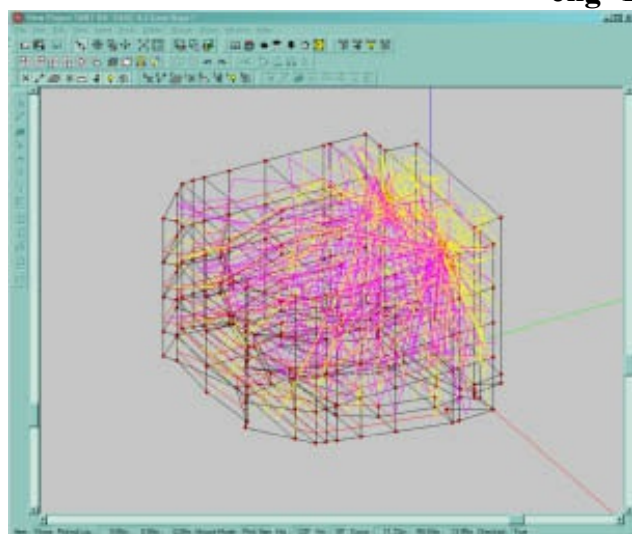


figura 6.260 Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, com raios de média densidade, ainda com excelente distribuição de energia pelo recinto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

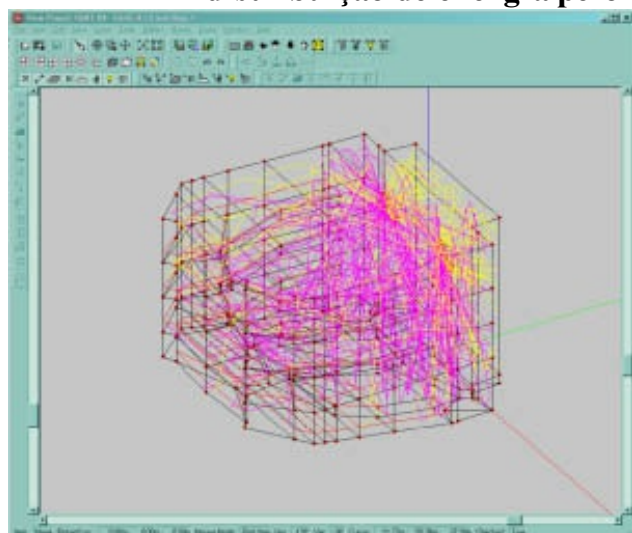


figura 6.261 Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, com raios baseados em quantidade contida de reflexões, prevalecendo a excelente distribuição de energia pelo recinto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

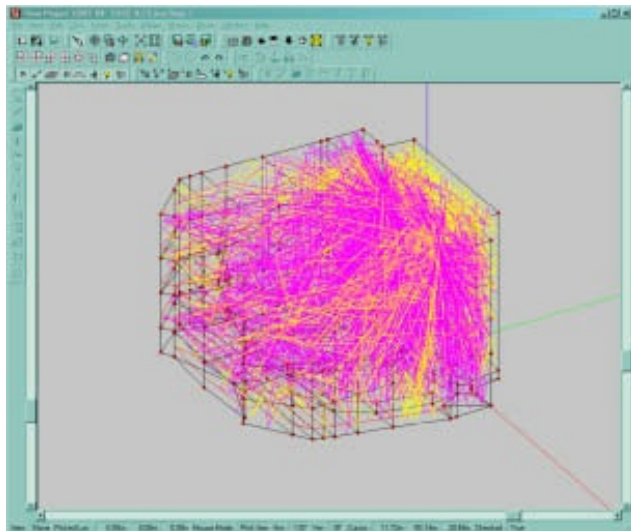


figura 6.262 Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, com raios de elevada densidade sem limite de reflexões, com distribuição de energia absolutamente homogênea por todo o recinto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O recurso obstacles é empregado para identificar eventuais obstáculos interpostos entre as fontes de som e quaisquer dos espectadores.

Os três recursos seguintes, isto é, surface reflections, ETC energy spectrum e expectation values, são algo mais complexos do que os anteriores. Por isso mesmo, dispõem de seus próprios submenus.

No caso do surface reflections, há sete janelas correspondentes às sete bandas de frequências de trabalho, e mais quatro: broad, accum, smooth e post.

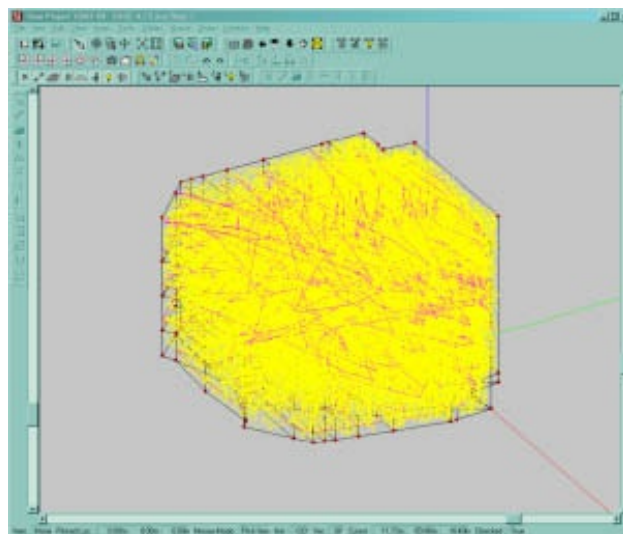


figura 6.263 Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, com raios de elevadíssima densidade sem limite de reflexões, com distribuição de energia absolutamente homogênea por todo o recinto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ao selecionar a janela broad, estamos selecionando simultaneamente todas as sete bandas de frequências de trabalho. Através da janela accum, podemos comutar alternadamente sim/não para acumular a energia dos campos direto mais reverberante na posição de prova. Ao comutar sim obtemos um reflectograma que possibilita a análise das reflexões principais no ambiente, como recebidas no ponto de prova. E a partir disso, é possível identificar eventuais irregularidades, inclusive acústicas.

A janela smooth aciona um método de integração que prevalece sobre os valores acumulados, analisados anteriormente. A rigor, a operação smooth é uma forma de ponderação, que obedece ao valor de tempo ajustado previamente, como um dos parâmetros de partida.

Com a janela post podemos gerar um arquivo com dados para uso posterior.

Vale lembrar que os padrões de reflexão variam muito de local para local dentro do mesmo

ambiente. Por isso, a ferramenta que acabamos de analisar é muito poderosa.

No caso do ETC energy spectrum, as janelas do submenu são average, spectrum, band, refl, draw e cursor.

A janela average nos fornece valores médios calculados para 1/3 de oitavas. Os valores médios para 1 kHz, com e sem reflexões, são arquivados para uso subsequente de cálculos $AL_{CONS}\%$ e RASTI.

A janela spectrum dá início aos cálculos de resposta de frequência sem ponderação, feitos com o emprego de FFT.

A janela band possibilita a troca da banda de frequência de trabalho.

A janela refl inclui na figura os sons refletidos, válidos para a resposta de frequência anteriormente calculada.

A janela draw é utilizada para dar a início a quaisquer dos cálculos desejados.

Finalmente, a janela cursor apenas possibilita esconder ou não o cursor.

No caso do expectation value, o submenu inclui as seguintes janelas: Schroeder, time, Ct, Alcons, Rasti e fade.

Com a janela Schroeder, comutamos o algoritmo usado para representar o tempo de reverberação, de Eyring/Sabine para Schroeder. Este algoritmo é uma integração invertida dos elementos calculados durante a criação dos reflectogramas.

Disse anteriormente que o tempo de reverberação de um ambiente tende a ser bastante consistente de local para local, no interior do espaço.

Mas isto é apenas uma regra geral. Portanto, com suas exceções. Nesse momento o EASE surge como um meio incrivelmente simples para que possamos testar se o caso em questão é regra ou exceção.

Através da janela Ct damos início aos cálculos dos Índices de Claridades C7, C50 e C80 para a posição de prova, também como função da frequência.

A janela AL_{CONS} permite que vejamos os valores de $AL_{CONS}\%$ na posição de prova, valores estes obtidos como função do “time split”. Do mesmo modo, a janela RASTI é usada para que possamos conhecer os índices RASTI na posição de prova.

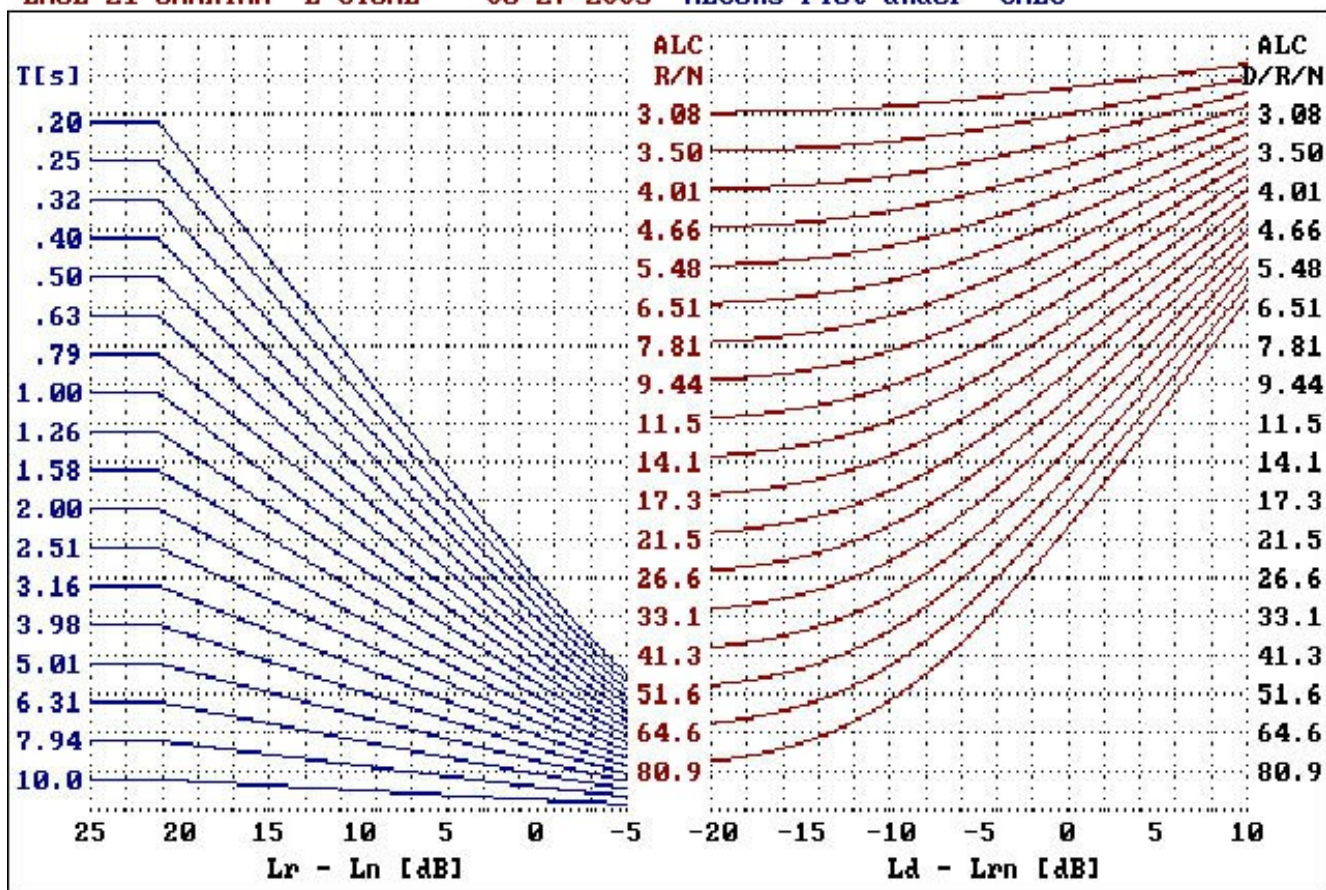


figura 6.264 duplo nomograma para cálculo do $AL_{CONS}\%$ com e sem a influência da relação sinal/ruído acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ajanela fade serve para ativar ou não a função com seu mesmo nome. Quando não acionada, os cálculos são feitos apenas com os sinais diretos e os valores absolutos da energia reverberante. Com a função aciona, os cálculos incluem mais 5 milissegundos após a chegada do último som direto, e daí em diante, a taxa de queda adotada é a mesma calculada para a taxa de queda do tempo de reverberação.

E com isso terminamos os recursos de mapeamento.

O plot do $AL_{CONS}\%$ mostra na tela algo semelhante ao nomograma da figura 6.264. Vemos dois deles na figura. O do lado esquerdo é utilizado para calcular o $AL_{CONS}\%$ apenas como função do tempo de reverberação e da figura $Lr - Ld$, em dB. Neste caso, Lr representa o campo reverberante, e Ld representa o campo direto. A partir deste $AL_{CONS}\%$ caminhamos para o nomograma do lado direito para encontrar o novo $AL_{CONS}\%$, agora uma função da relação sinal/ruído.

Esses nomogramas podem ser substituídos pelos correspondentes às técnicas de cálculo Peutz, TEF20 e RASTI. Para tanto basta clicar na janela inferior com a designação desejada.

O recurso beam show, ainda do menu suspenso CALC, requer que tenhamos no mínimo uma posição de ouvinte, ou uma localização de prova.

Podemos obter a visão dos raios na medida em que o programa os calcula, ou avançando manualmente para investigação mas lenta e detalhada.

O recurso post file, o último do menu CALC, armazena os arquivos correspondentes aos reflectogramas e outros dados. Por isso mesmo, pode ser utilizado para análises posteriores de dados e de figuras.

O menu suspenso RAYS é nosso meio de comunicação com o poderoso módulo “ray tracing”. Aparentemente, a única desvantagem deste algoritmo é o tempo computacional consumido, relativamente longo, especialmente para ambientes complexos. Isto ocorre mesmo que você trabalhe com um i7 Extreme 5960K com 16 núcleos. Como em meu caso.

Abrindo este menu, temos vários blocos. O primeiro com as seguintes opções: arrival list, impact chance, update files, e perspective. No segundo bloco, as opções são ray tracing, view ray file, decay time, e seat local RT. As opções do terceiro bloco são find impacts e impact batch. No quarto bloco temos as opções mirror image e mirror batch.

E finalmente, no último bloco temos view impact, reflectogram, Schroeder RT e view protocol.

Ao abrir a opção arrival list, aparece uma caixa de diálogo, através do qual selecionamos os falantes e os locais dos expectadores. A partir disso, o programa apresenta uma relação tabular dos tempos de chegada dos sinais diretos.

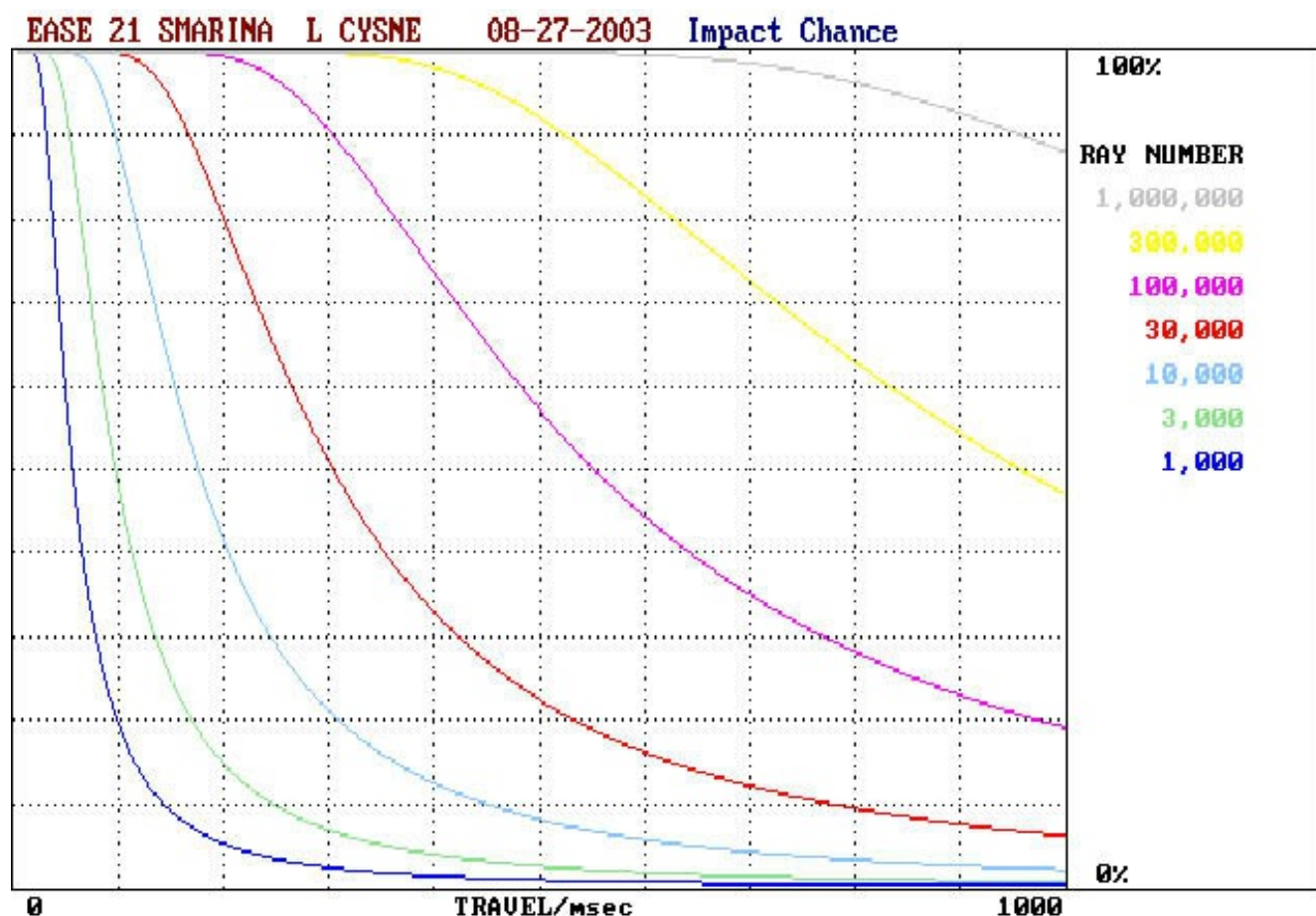


figura 6.265 gráfico do gênero Impact Chance acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ativado o recurso impact chance, vamos ver um gráfico como o da figura 6.265. Ele serve para mostrar a probabilidade de um raio atingir o ponto determinado, cálculo este expresso em termos de milissegundos.

Podemos utilizar uma janela denominada time para obter a probabilidade de impacto, agora em termos de quantidade de raios.

Com o recurso update files podemos atualizar rapidamente arquivos de traços (*.trc) e de impactos (*.mpc), o que é praticamente obrigatório nos casos de substituição de materiais

acústicos, de falantes e de outras alterações de parâmetros.

Todos esses recursos, aparentemente simplórios, são ferramentas muito eficazes e de grande valia pois permite fazer ajustes com grande precisão, e muito rapidamente.

O último recurso do primeiro bloco é perspective, com o qual podemos selecionar as vistas externas, do falante, ou do espectador.

O primeiro recurso do segundo bloco é o ray tracing. Uma vez acionado, surge na tela uma caixa de diálogo, através do qual estabelecemos condicionantes, como a ordem de raios desejada, o tempo total em que queremos o ray tracing, a perda em dB, e ainda, as opções de traçado, como gráfico 3D, a apresentação ou não de todos os raios, e se queremos ou não salvar o correspondente arquivo.

Depois disso, há um enorme submenu, através do qual instruímos o programa para como prosseguir.

O recurso view ray file nos permite verificar quais são os arquivos *.trc* e *.mpc* que foram armazenados. Apesar de aparentemente simples, este recurso incorpora vários submenus, possibilitando que façamos inúmeras análises independentes.

E chegamos ao terceiro bloco. A opção find impacts é semelhante ao ray tracing, com a diferença de que agora adicionamos as posições dos ouvintes. Como antes, aqui também podemos gerar arquivos *.trc* e *.mpc*.

O recurso impact batch é utilizado para criar arquivos batch, através dos quais o programa vai apresentando cálculos sequenciais, evitando que façamos repetidamente a mesma operação por meios manuais.

O primeiro recurso do quarto bloco é mirror image. Com ele, geramos arquivos de impacto a partir da técnica “mirror imaging”. Que é mais eficaz que a utilizada no processo ray tracing. Em compensação, o tempo computacional requerido é bem mais elevado. O recurso mirror batch é semelhante ao impact batch, entretanto, aplicável apenas aos arquivos obtidos com o recurso anterior.

O primeiro recurso do quinto bloco é o view impact, com seu submenu formado pelas janelas view, rays, back, again, movie, from, 0, to, ∞ , step, 1 e how.

As janelas view e how dão origem a dois novos subsubmenus. O primeiro, correspondente a view, contém as janelas slow, hight, beam, ord, loss, e de 1 a 7, para a escolha da banda de frequências de trabalho. O segundo, correspondente a how, tem as janelas view, X, Y, Z, org, turn, full, drag, spot, zoom, cram, loc, pick e info.

Creio que entrar nos detalhes destas janelas seria exagero para o objetivo deste livro.

O recurso reflectogram produz um reflectograma a partir de qualquer arquivo de impacto. Como vimos anteriormente.

O recurso Schroeder RT dá início aos cálculos dos tempos de reverberação a partir dos arquivos de impacto.

Os recursos mirror image e find impacts produzem um arquivo denominado Protocol.txt. O acesso a este arquivo é feito através do recurso view protocol.

Não quero induzir ninguém a nada. E o fato de ter me estendido um pouco na análise do EASE tem o objetivo de mostrar o porquê deste programa ter sido consagrado por praticamente todos os consultores de áudio do mundo. Com efeito, trata-se de um instrumento analítico extremamente poderoso e preciso. Em mãos habilitadas é praticamente capaz de produzir milagres.

Está gostando? Mas o melhor vem agora.

Lembra-se? Ficamos de falar da auralização. Ei-la aqui. O programa que possibilita esta ferramenta, e que só roda em conjunto com o EASE, chama-se EARS. Trata-se de um complemento inteiramente baseado num outro programa, desenvolvido tempos atrás pelo Dr. Wolfgang Anhert, para uso exclusivo em pesquisas acústicas muito avançadas, de natureza estritamente científica.

Estamos falando de um software de auralização muito potente. Em minha opinião, virtualmente o mais sofisticado soft de prognóstico acústico existente para PC na ocasião em que estas linhas estavam sendo escritas.

Uma vez concluído o modelamento, e feitos os ajustes acústicos e eletroacústicos necessários ou desejados, é hora de usar o EARS.

Você escolhe um local qualquer da plateia. E informa ao programa. Daí em diante ele trabalha com auralização a partir das informações acústicas da sala, posições e orientações dos falantes ou clusters, e cria de forma simulada o programa que você escutaria se estivesse no local escolhido. Há opções para música e para locuções.

Com o que é possível fazer previsões para quaisquer locais abertos ou fechados. Basta plugar um fone de ouvido e avaliar os resultados.

Se nas etapas anteriores o EASE mostrou grandes diferenças de local para local na área da plateia, agora é a hora de tirar a prova dos nove com o EARS.

Escolha esses locais e ouça a simulação do que os ouvintes ouviriam depois de implantado o sistema.

É possível introduzir ruídos de fundo, graduando seus níveis. Como barulhos de vozes, de máquinas em geral, de telefones tocando, de aparelhos ou sistemas de ar condicionado, e assim por diante.

Como em qualquer caso de avaliação por simulação, se não gostamos dos resultados podemos e devemos modificar as condições acústicas e/ou eletroacústicas de nosso modelo, e

a seguir avaliamos os novos resultados, devidos às alterações. Tudo em questão de minutos.

Pessoalmente, penso que a dupla EASE/EARS é uma excelente terapia. Lidar com ela realmente é um dos melhores remédios contra o stress e a fadiga. A gente se esquece do mundo e fica examinando cada detalhe de como será sonicamente o sistema analisado.

Claro que os clientes ficam já ficam muito bem impressionados diante de um show de slides, no qual praticamente podem “ver” quais serão os resultados de seus espaços. Mas uma avant-première especial de em determinado local, com direito a ouvir por antecipação o que só seria possível depois que tudo estiver instalado, chega a ser covardia.

Para quem quer uma explicação um pouco mais técnica do que é a auralização, podemos colocar do seguinte modo.

A auralização é um processo de predição que se baseia em converter ecogramas de bandas de oitavas em respostas de impulso binaurais.

Ora, as respostas de impulso podem ser facilmente submetidas a processo de convolução. O ponto de partida de tudo isso é a música ou a locução gravadas em condições anecóicas, sendo que todas as condições acústicas utilizadas no modelamento são parte dessa equação.

Bem, se falamos de convolução, temos que tentar explicar o que é essa operação usando um mínimo de espaço. Como regra geral, quando aplicamos a transformada de Laplace a qualquer produto de duas funções não obtemos como resposta o produto das transformadas dessas mesmas funções.

Porém, há um produto muito especial e particular de duas funções, por exemplo as funções f e g , chamado de convolução das funções f e g , que escrevemos $f * g$. A convolução tem a propriedade de que a transformada de Laplace de $f * g$ é a transformada de Laplace de da função f multiplicada pela função g .

Pois bem, esclarecido esse ponto podemos colocar que ao final do processo, hoje muito aperfeiçoado, ouvimos o produto da auralização e experimentamos a forte impressão de que a audição está sendo realizada no próprio espaço real e não numa condição de simulação. Após muitos anos de experiência prática posso lhes assegurar que o grau de correlação entre o que ouvimos antes, ainda na etapa de projeto, e o que ouvimos depois de instalado o sistema, nos pontos exatos utilizados para a simulação, é realmente enorme.

O processo da auralização completo também inclui a HRTF (Head Related Transfer Function). O que é isso? Vamos entender a HRTF como sendo um conjunto de técnicas e de processos capazes de transformar as informações capturadas por “ouvidos artificiais” colocados no interior de cabeças manequim. Esses “ouvidos artificiais”, que são microfones especializados, captam os sons processados pelas “orelhas artificiais” e pelas demais partes da cabeça. Assim, esses sons, com todas as suas pistas direcionais, são usados para que seja

customizada uma efetiva experiência de realidade virtual. Assim, a função HRTF altera o sinal eletrônico para produzir uma fórmula que simula com muita aproximação os efeitos da cabeça e dos órgãos sensoriais. Por exemplo, levando em conta o formato das orelhas antes que o som atinja o “ouvido médio”, de sorte que o sinal de entrada possa ser ouvido como seria de fato num caso real por um ser humano.

A função permite que o sinal seja processado exatamente de acordo com a geometria, formato e demais características de uma cabeça humana qualquer.

A convolução do material anecóico pode ser feito por software, diretamente, mas também pode ser feito por hardware especializado. Ou ainda, por ambos.

Além das respostas binaurais também são possíveis praticamente quaisquer formatos estéreo, 5 canais e formato-B.

Formato-B é um sinal estéreo padrão, geralmente contendo 4 canais denominados WXYZ como se fosse um único conjunto de sinais. O canal W é o sinal de pressão sonora capturado por um microfone onidirecional perfeito. Os canais X, Y e Z são os campos de pressão das “harmônicas esféricas de primeira ordem”, todos obtidos através da ponderação da pressão exercida no microfone, computados os cossenos dos ângulos feitos entre as direções de recebimento das ondas sonoras e os correspondentes eixos cartesianos. A referência cartesiana é definida no padrão ISO2631.

6.12.1.2 O CADP 2 da JBL

O primeiro CADP (Complex Array Design Program) da JBL já era realidade em 1983.

Nessa época o programa enfrentava um sério problema, que eram os computadores de então.

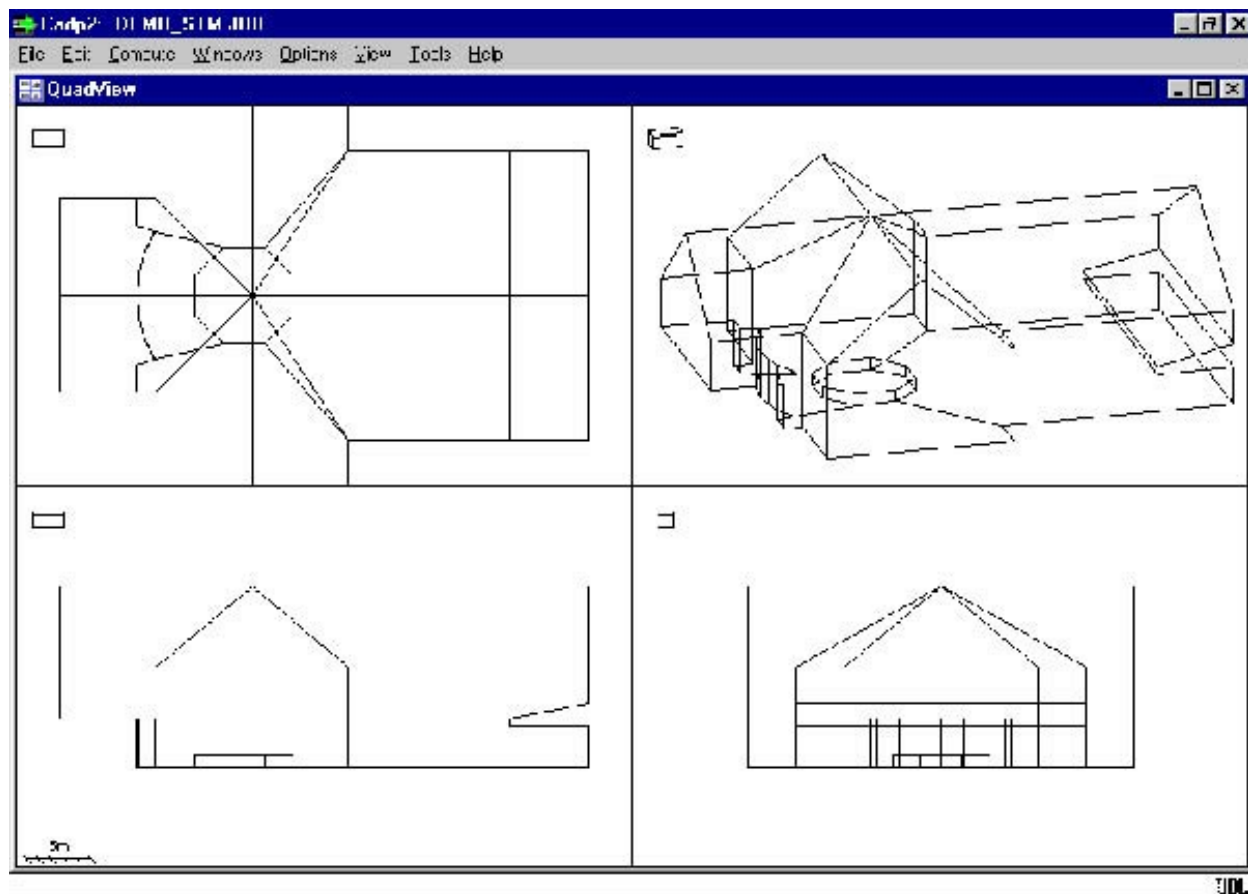


figura 6.266 modelamento de espaço no CADP2
cortesia JBL Professional

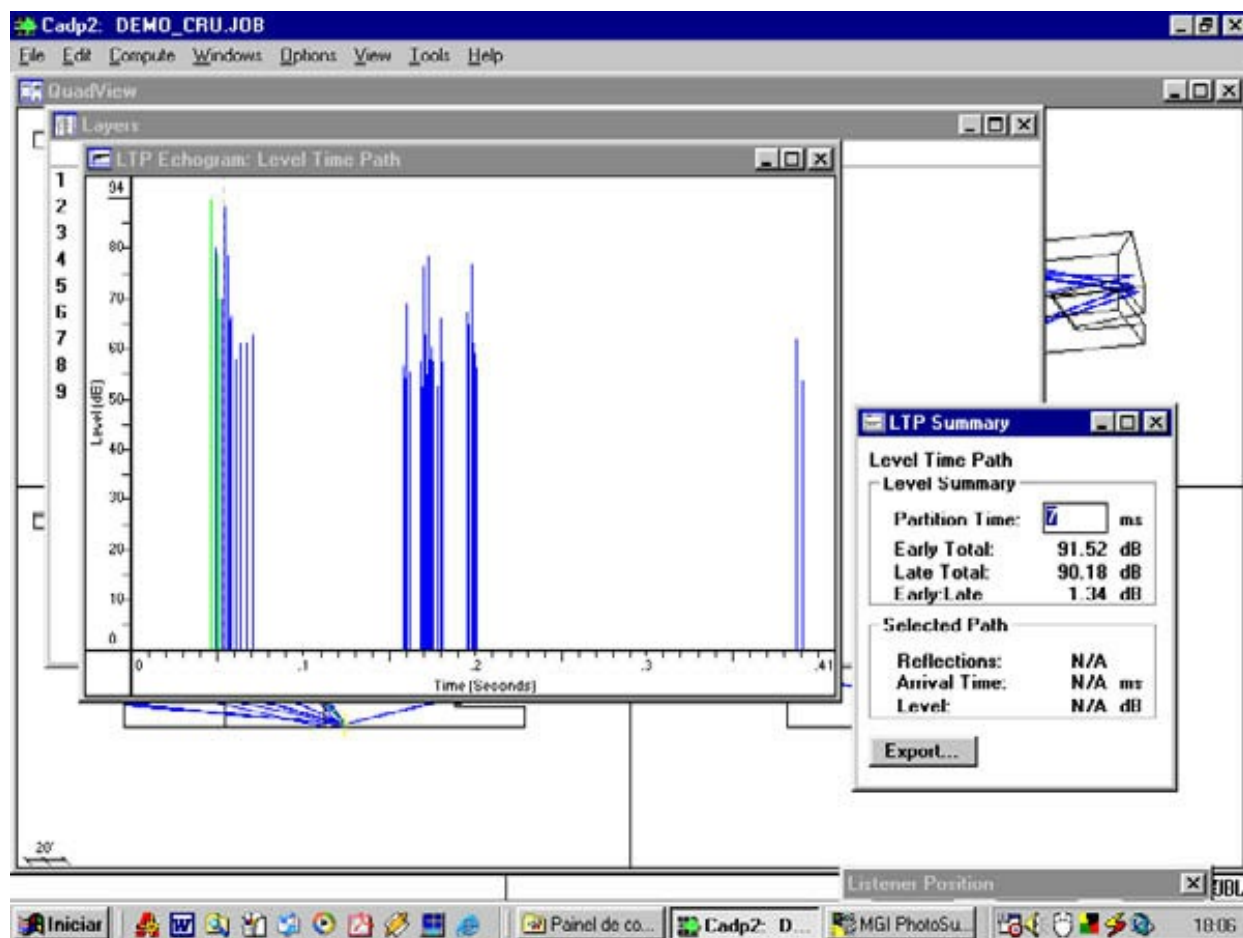


figura 6.267 cálculos de LPT (Level/Time/Path) feitos pelo CADP2
cortesia JBL Professional A filosofia de partida da JBL foi direcionada para dois objetivos.

O programa deveria ser eficiente e preciso, e as informações dadas deveriam poder ser

utilizadas para apresentações de seus usuários.

O atual CADP2 é um software bastante sofisticado, para rodar em PC.

O modelamento 3-D é simples, embora não tanto quanto o EASE. Os procedimentos são objetivos e as ferramentas inúmeras.

Localizar e orientar os clusters nos modelos também é algo muito intuitivo e simples. Que pode ser feito até com movimentos de mouse.

A figura 6.267 mostra um espaço modelado no CADP2, já com os clusters localizados e orientados no desenho.

Como no caso do EASE, a figura é dividida em quatro quadrantes.

Um para a vista superior, outro para o corte longitudinal, outro para o corte transversal e o último para um desenho em perspectiva.

No CADP2, os cálculos de LPT (Level/Time/Path) também são feitos por técnica ray tracing, e a resposta do programa assume a forma da figura 6.267.

Deixei a janela “LPT Calculation” aparecer na figura, para que fique claro como é possível ajustar vários parâmetros antes de pedirmos que o programa faça os cálculos.

Naturalmente, poderemos ter tantos cálculos para parâmetros diferentes quantos desejarmos. Inclusive, variando a posição do ponto de prova, agora chamado posição do ouvinte (listener position). A figura mostra o traçado dos raios nos quatro quadrantes.

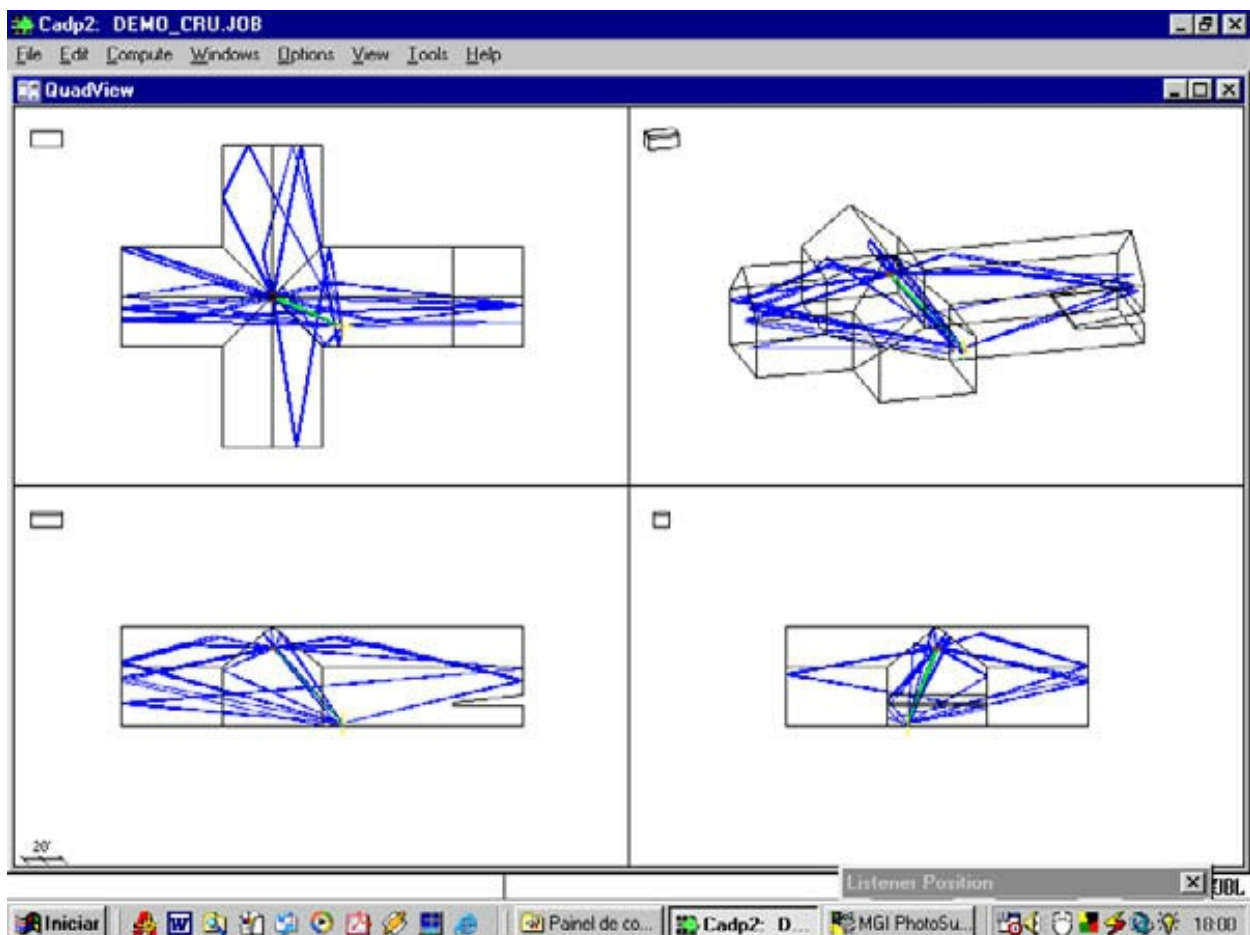


figura 6.268 ecograma LPT

cortesia JBL Professional A figura 6.268 mostra um reflectograma, agora denominado ecograma LPT.

A correspondente janela mostra praticamente todos os parâmetros básicos que entram no cálculo matemático.

Como no caso do EASE, as informações de tempo de reverberação também podem ser facilmente calculadas pelo programa, que nos apresenta os correspondentes gráficos de forma muito clara e prática, como revela a figura 6.269.

A janela associada mostra que podemos estabelecer valores definidos como objetivos (target values), e solicitar os cálculos para algumas condições acústicas diferentes, entre as quais estão a Sabine, a Norris-Eyring e a Fitzroy.

Também podemos incluir ou não perdas com o volume de ar do recinto, e estabelecer o grau de ocupação do espaço.

O CADP2 pode calcular e mostrar a distribuição dos campos acústicos no plano de audição da platéia. Os campos podem ser escolhidos entre o refletido, o reverberante e direto.

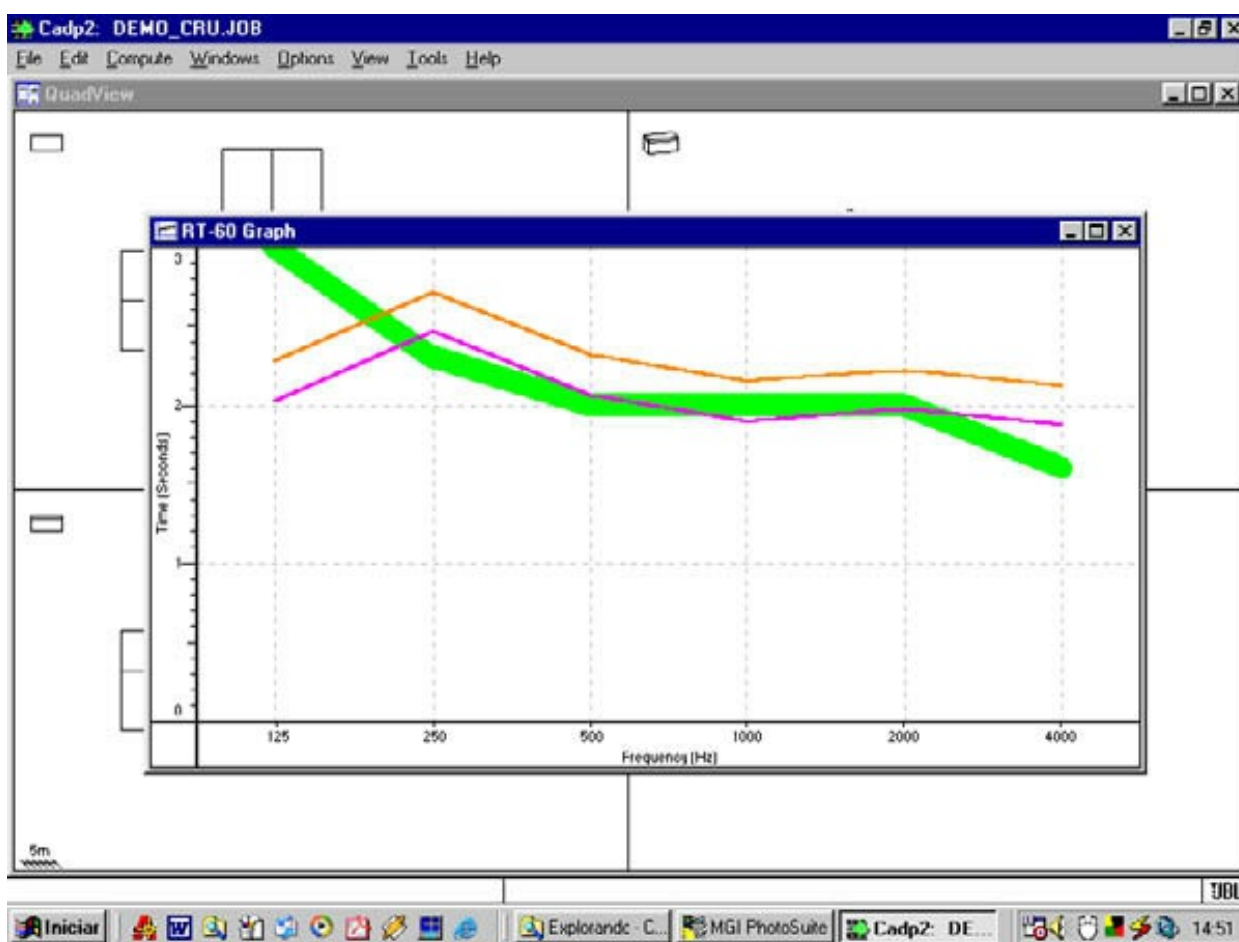


figura 6.269 gráficos de tempo de reverberação cortesia JBL Professional Este último com possibilidade de apresentação de potência e de média de sinais complexos.

Os resultados são cromaticamente pintados sobre os planos escolhidos, de modo que cada cor utilizada representa um nível diferente de L_p .

A resolução e a escala são definidas pelo usuário. A figura 6.270 mostra uma tela dessas, aplicável ao campo direto.

Observe que para interpretar as mensagens coloridas, podemos instalar uma escala graduada, que aparece na parte central da figura.

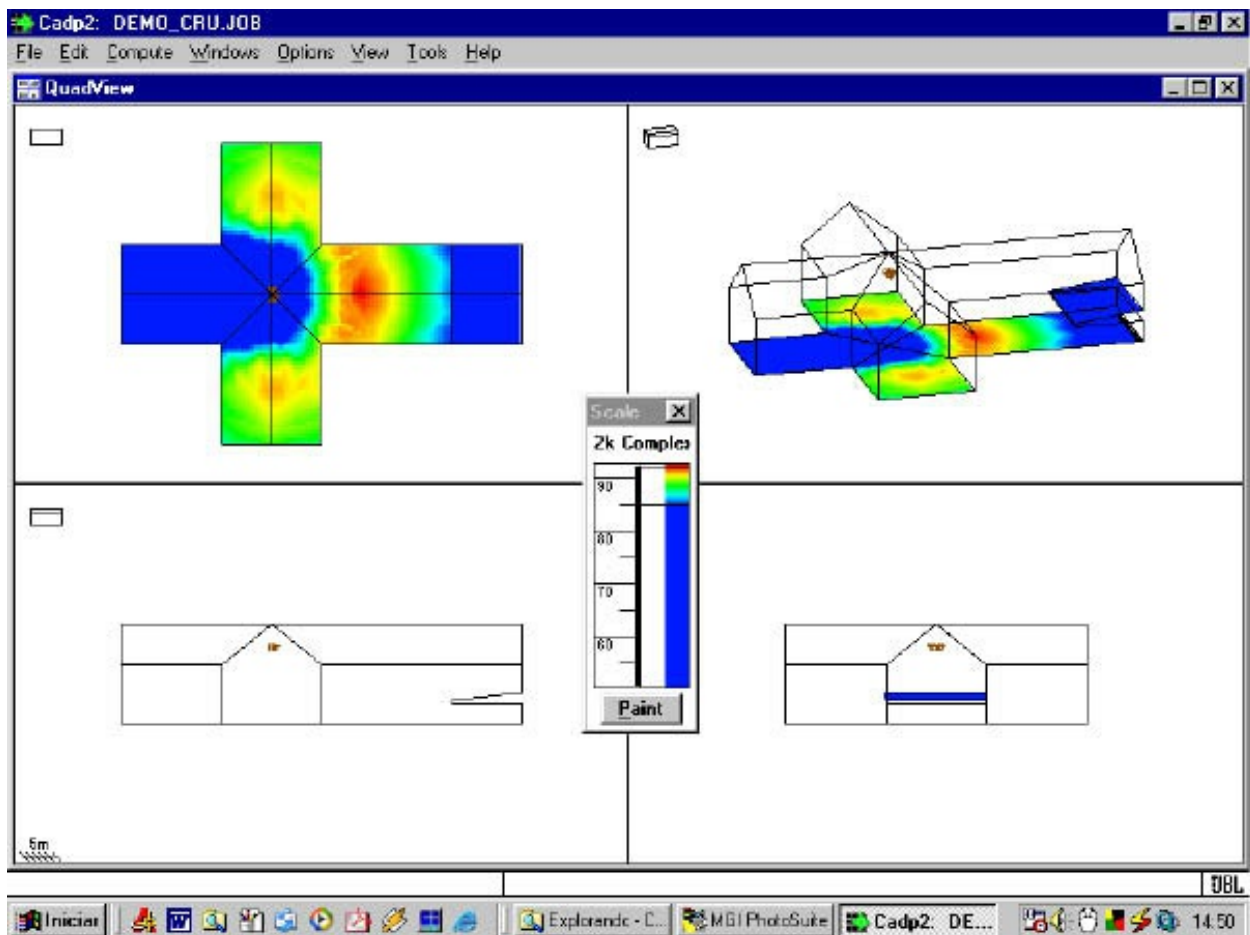


figura 6.270 distribuição do L_p através de um plano escolhido cortesia JBL Professional

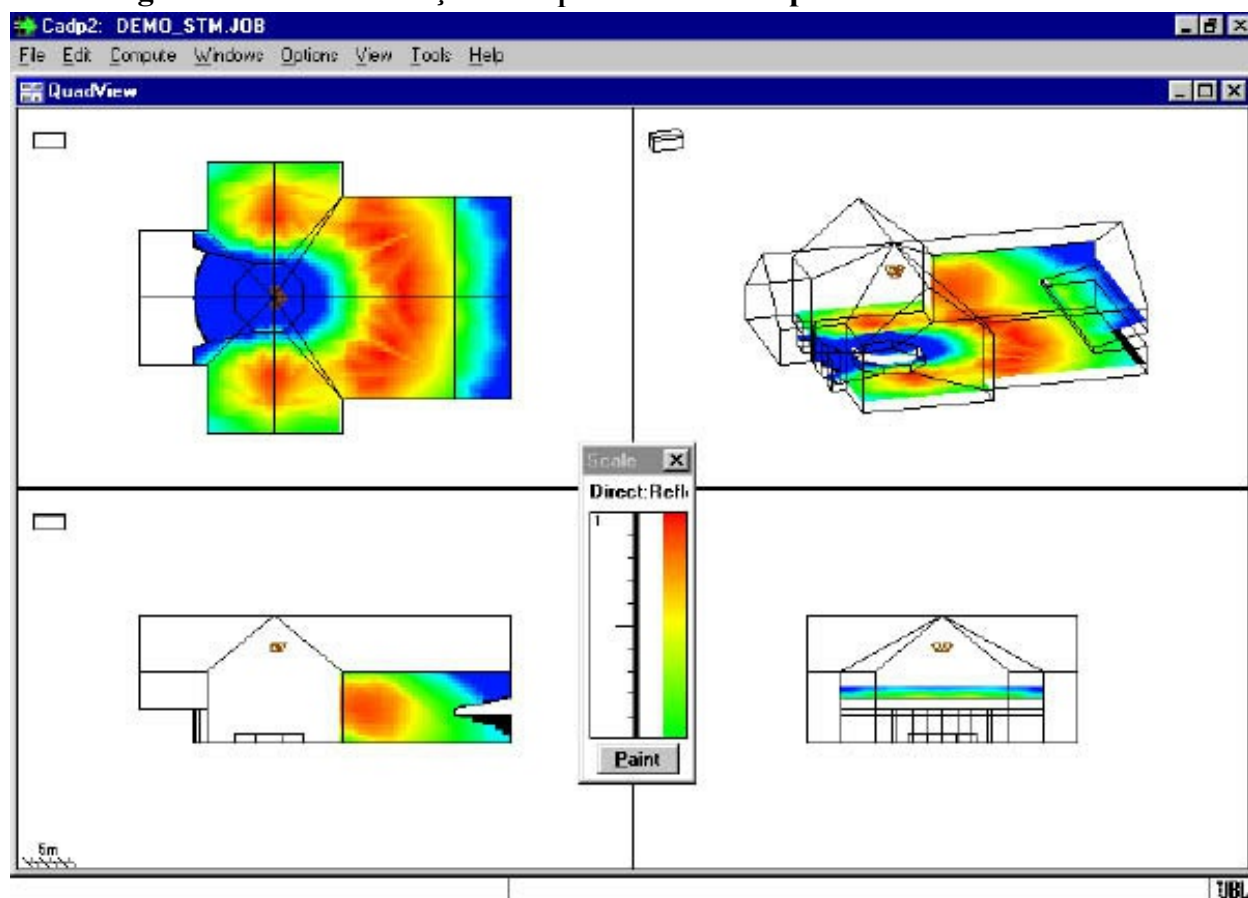


figura 6.271 relação campo direto/campo reverberante cortesia JBL Professional Se você observar com cuidado e comparar as figuras 6.270 e 6.271, vai verificar que os resultados gráficos são muito parecidos. Mas as telas nos informam coisas completamente distintas.

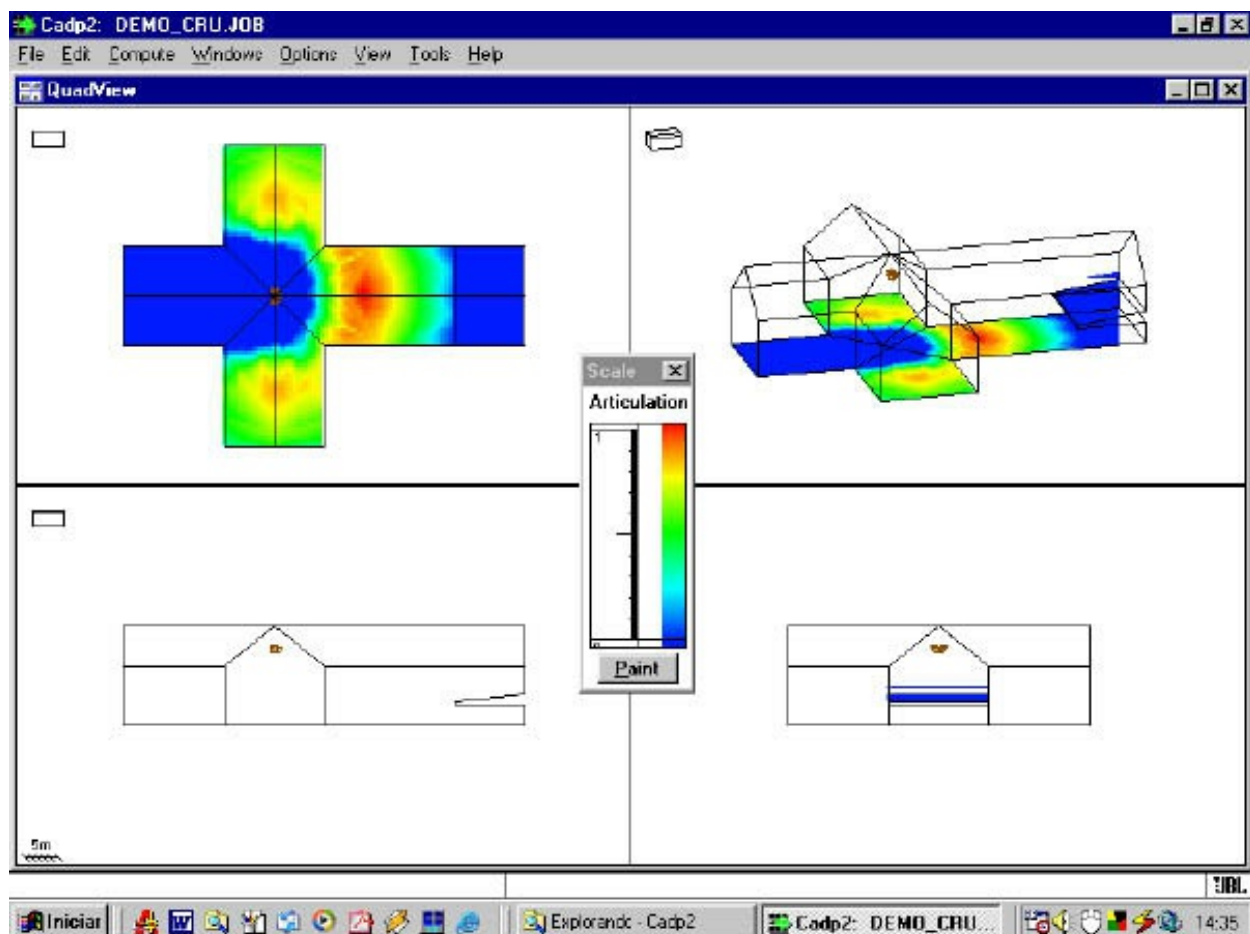


figura 6.272 inteligibilidade - AL_{CONS} %

cortesia JBL Professional Isso porque a JBL fez algo muito interessante e inteligente. Que é utilizar este mesmo esquema cromático, com direito a escalas de cores graduáveis, para apresentar gráficos parecidos de vários tipos diferentes de cálculos.

Assim, por exemplo, a determinação da relação campo direto/campo reverberante é feita de modo semelhante.

Como ilustra a figura 6.271.

Os cálculos de inteligibilidade são aplicáveis ao AL_{CONS} % (Sabine, Norris-Eyring e Fitzroy) e ao AI (Articulation Index).

As figuras 6.272 e 6.273 nos dão uma clara ideia de como os dados são apresentados, para o caso de AL_{CONS} %, e de AI, respectivamente.

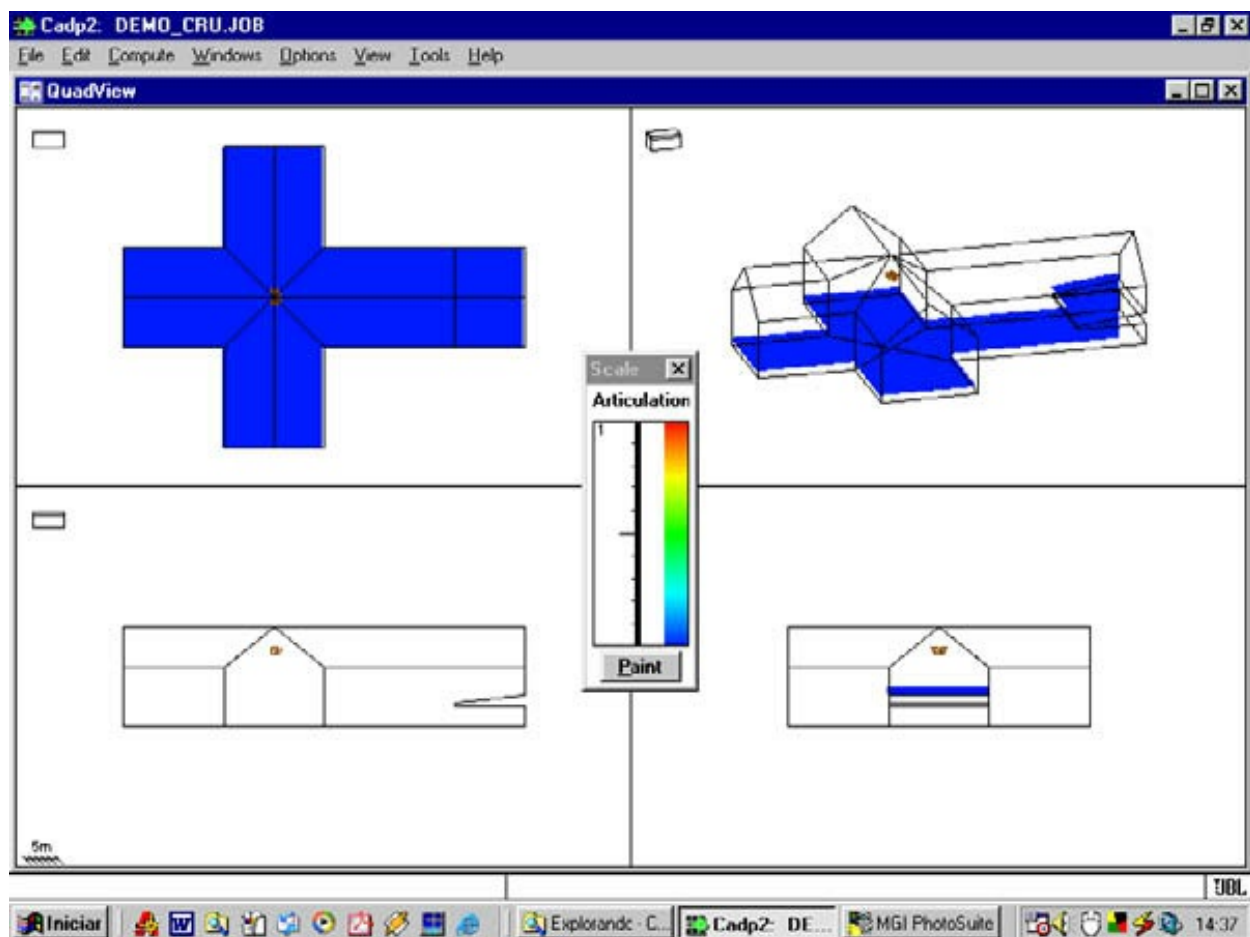


figura 6.273 inteligibilidade - AI cortesia JBL Professional Todas as telas produzidas pelo soft são ao mesmo tempo simples de entender e sofisticadas na apresentação.

O visual é realmente muito bonito.

De um modo geral, o software foi desenvolvido para preservar todas as vantagens do ambiente windows.

Quem tem experiência com Windows não se aperta ao trabalhar com o CADP2, desde que tenha dominado seus princípios básicos.

Pessoalmente entendo que a capacidade de comunicação deste programa não é um de seus pontos fortes. Ou seja, seus recursos de importação e de exportação de informações. Especialmente as mais complexas.

Contudo, como era de se esperar, esses recursos existem.

Dado o muito tempo de existência do CADP2, foi possível aperfeiçoá-lo bastante. Especialmente no que se refere ao interface gráfico.

Olhando para este programa como consultor ou como projetista de áudio, penso que sua maior desvantagem é o fato deste ser um software fechado. Isto é, ele só admite que se trabalhe com falantes ou clusters JBL.

Nada além disso.

O que, por motivos óbvios, limita consideravelmente o escopo de possibilidades de trabalho.

6.12.1.3 O AcoustacADD da Altec

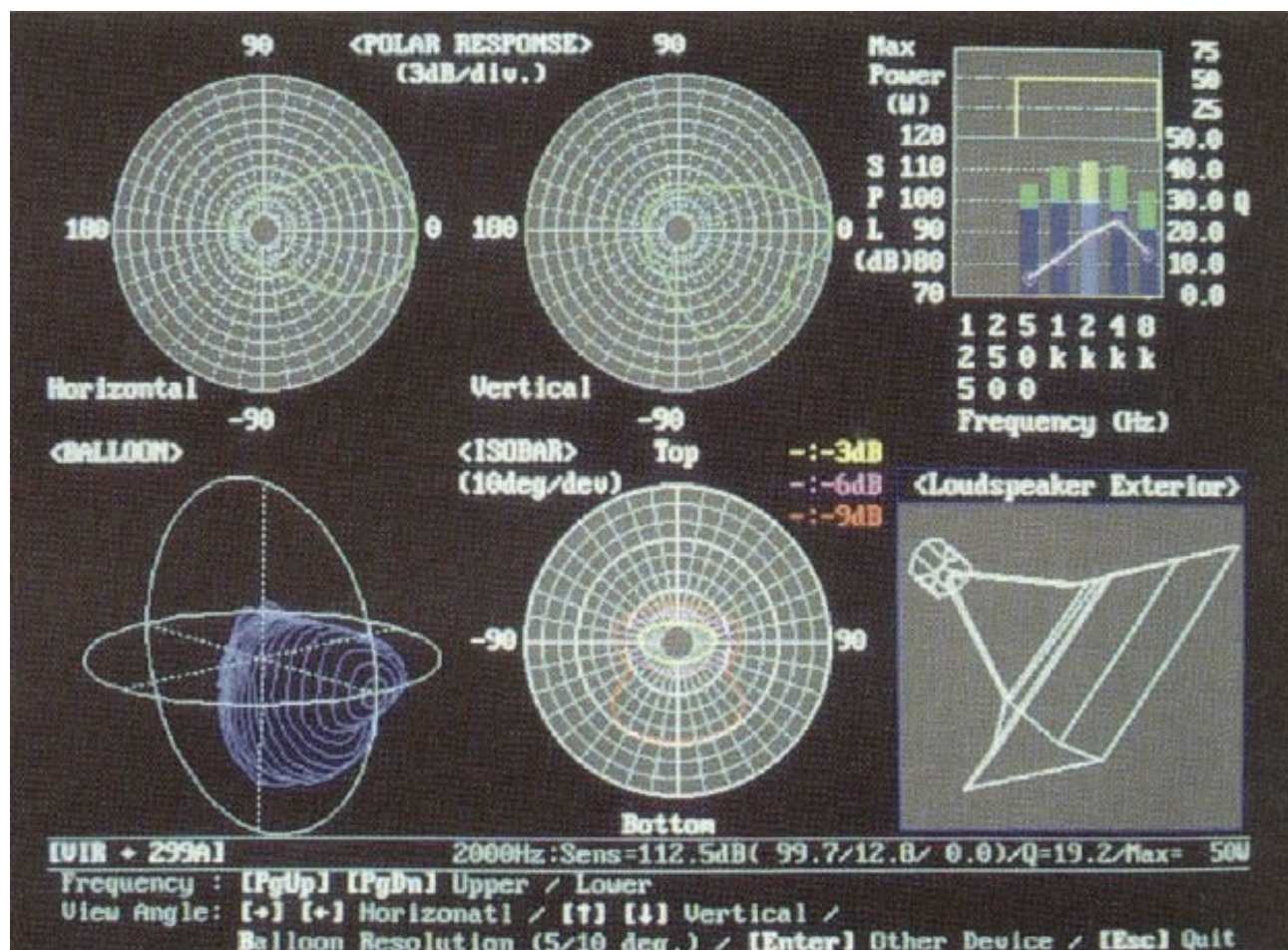


figura 6.274 dados de diretividade de uma corneta acústica, como apresentados pelo AcoustaCADD cortesia Altec Lansing Corp.

Este programa foi desenvolvido pela Altec/Mark IV.

O modelamento aqui também é feito de forma muito simples, com uma grande variedade de ferramentas.

O software pode ser facilmente considerado muito sofisticado. Mas seu qualificativo mais apropriado é, sem dúvida, a acuidade.

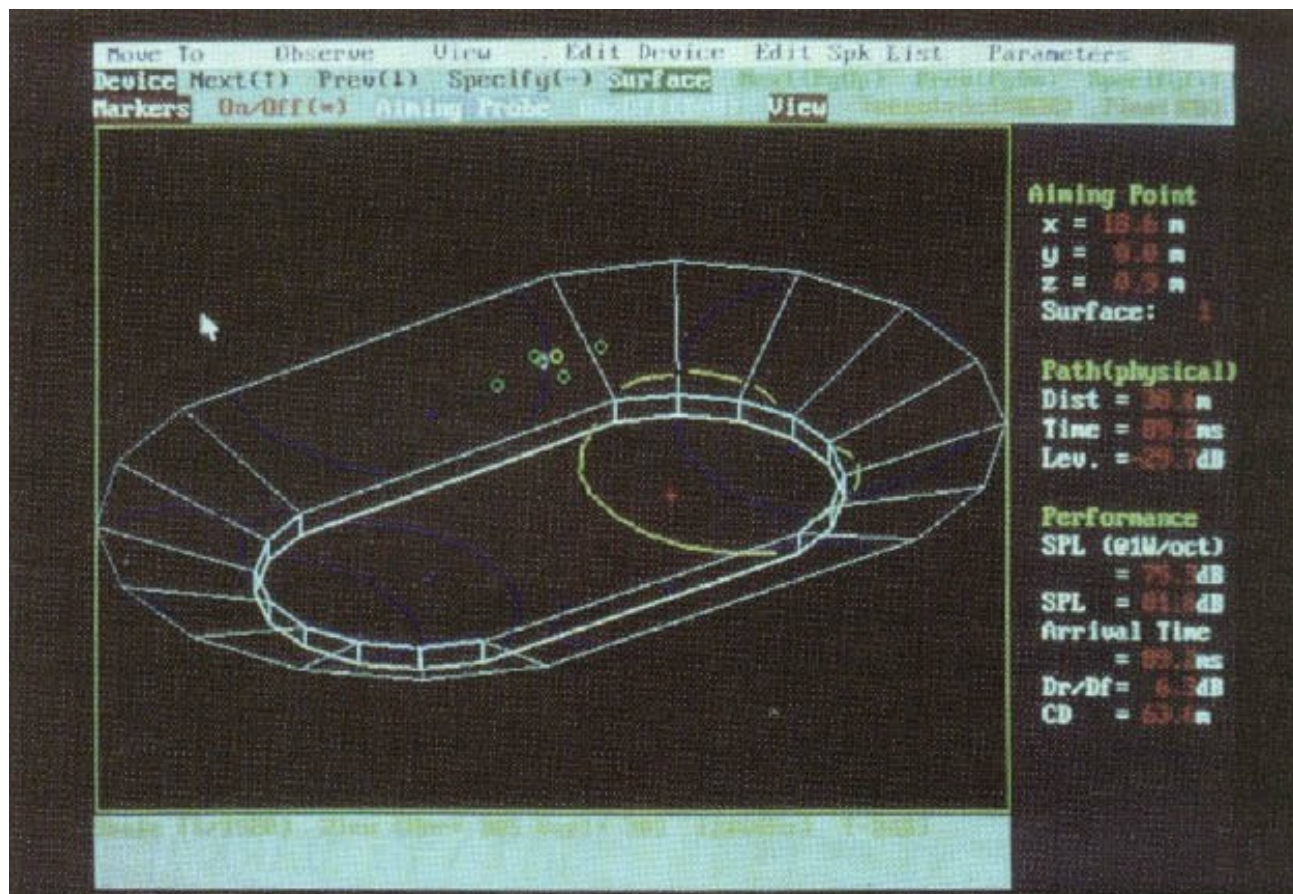


**figura 6.275 exemplo de espaço modelado no AcoustaCADD
cortesia Altec Lansing Corp.**

Todas as informações contidas na base de dados foram caprichosamente compiladas para que fossem tão verossímeis quanto possível. E a parte forte da base de dados são as informações e parâmetros de direcionalidade dos falantes.

Por isso mesmo, este é um de seus pontos muito fortes.

Como resultado disso, as previsões de inteligibilidade são extraordinariamente precisas, tanto por algoritmos RASTI quanto por STI (Speech Transmission Index).

Outro recurso deste programa, extremamente útil, é uma coleção de “templates”, que inclui vários ambientes com inúmeros formatos.

A partir disso, diante de um trabalho qualquer, o usuário escolhe um template com as características mais aproximadas possíveis daquelas do espaço com o qual vai trabalhar, entra com alguns dados de edição, e num piscar de olhos já tem seu ambiente modelado.

Este também é um software fechado, uma vez que só admite simulações com falantes Altec. Portanto, repete-se aqui a mesma desvantagem que discutimos no caso do software CADP2.

6.12.1.4 O Modeler da Bose

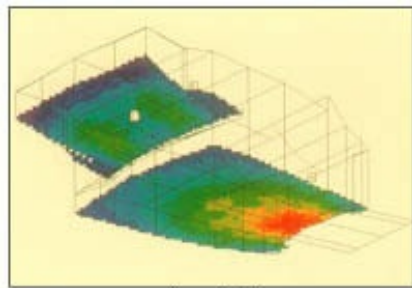


figura 6.276

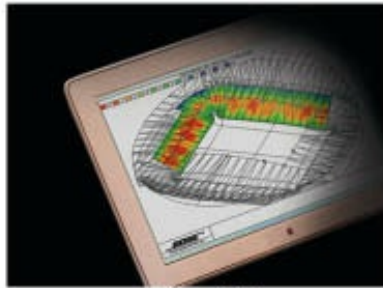


figura 6.277

cortesia Bose Corporation

Outro software fechado, que só possibilita simulações com os falantes Bose. Além disso, ele só roda em máquinas Macintosh.

Como os demais casos já analisados, aqui também se começa com o modelamento físico do espaço, que pode ser aberto ou fechado.

Por méritos do programa, o usuário pode modelar espaços muito complexos rapidamente e com segurança. Pra tanto, cada local é formado a partir de regiões planares.

Mas há limitações. Como a quantidade total de superfícies, que fica limitada a 768, ou das portas, que podem ser 25 no máximo.

As simulações e análises incluem cálculos de campos acústicos diretos, refletidos e total, sempre com capacidade multioitavas, reverberações, tempos de chegada, respostas de frequência em banda estreita, tempo de reverberação Sabine, inteligibilidade da palavra e outros.

As figuras 6.276 e 6.277 mostram aspectos do interface de comunicação do Modeler.

Além do Modeler propriamente dito, há um plug-in que possibilita a auralização. Uma vez que o espaço modelado já inclua as características acústicas desejadas, é possível escolher uma particular posição na platéia para a audição do material, que tanto pode ser uma locução quanto uma música.

A correlação entre esta audição e a audição real é considerada elevada. E nem poderia ser diferente, uma vez que o fabricante informa que só este segmento do programa demorou 10 anos para ser integralmente desenvolvido.

6.12.1.5 O CATT-Acoustic O CATT-Acoustic é uma ferramenta muito direta e objetiva, produzida pela CATT, de Gotemburgo, Suécia. O desenvolvimento do programa consumiu muitos anos de trabalho de seu criador, Bengt-Inge Dalenbäck.

Como os demais programas discutidos, este também possibilita a simulação acústica de espaços abertos ou fechados. O ambiente de trabalho é como mostra a figura 6.278.



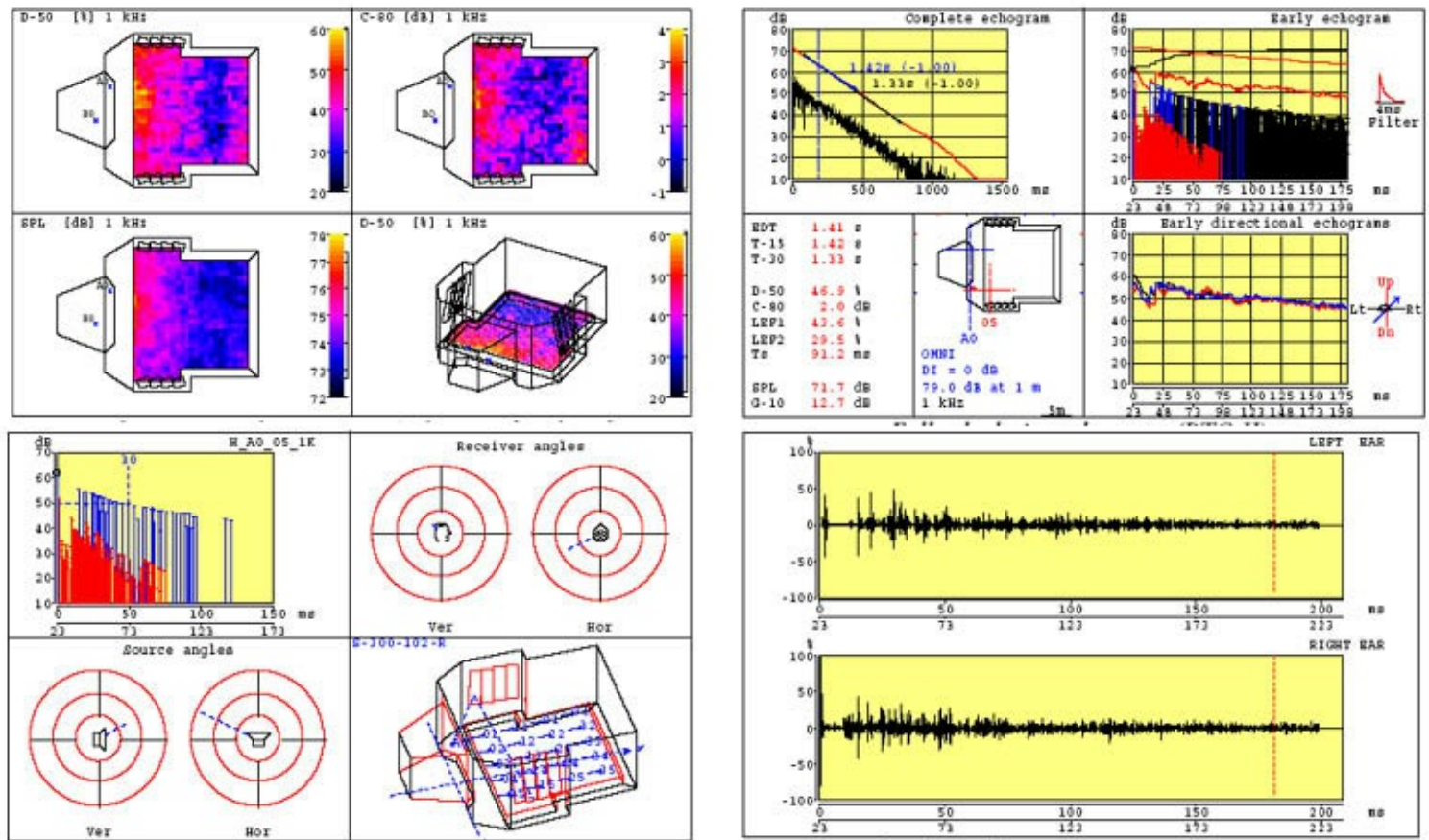


figura 6.279 espaço modelado no CATT-Acoustic cortesia CATT

As funções simuladas são praticamente todas as acústicas e muitas eletroacústicas. A exemplo de avaliações detalhadas de tempos de reverberação, estudos de reflexões pela técnica ray tracing, produzindo ecogramas e reflectogramas, análises de campos de som em geral, de diversos índices de clareza, de inteligibilidade (RASTI, STI, etc.) e tantos outros. Os resultados gráficos das simulações são animados para a maioria das funções, o que assegura uma interface visual primorosa e muito atraente. Por falar nisso, a interface com o AutoCad também é um dos pontos fortes do CATT-Acoustic.

Sem dúvida, outro ponto forte deste programa é a auralização, que é possível para as condições mono, estéreo, binaural, formato-B e 5 canais.

A figura 6.279 dá uma ideia grosseira de espaço modelado no CATT-Acoustic.

No quadrante superior esquerdo da figura está a área da platéia com a informação de SPL para 4 bandas de frequência. A informação é dada por código de cores, cujas paletas podem ser selecionadas pelo usuário. O quadrante superior direito ilustra como o grau de detalhes que é possível obter com cálculos muito completos de ecogramas. O quadrante inferior esquerdo mostra os detalhes de análise interativa dos caminhos das reflexões especulares. Finalmente, o quadrante inferior direito mostra a resposta de impulso da sala, obtida por síntese binaural.

6.12.1.6 O Gain Calc da Lectrosonics Este é um aplicativo da empresa norte-americana Lectrosonics, Inc. desenvolvido para possibilitar uma visão rápida, mas não muito precisa, dos

principais parâmetros eletroacústicos de instalações típicas, tanto para salas de reunião quanto para auditórios.

Basicamente, o programa calcula os parâmetros PAG e NAG e os compara.



figura 6.280 tela do calculador de PAG e NAG, caso de fonte única cortesia Lectrosonics, Inc.

Uma vez acionado, o calculador abre uma tela muito colorida e vistosa. Então, devemos informar em janelas específicas, via digitação, dados básicos como NOM, D_1 , D_2 , D_s , DAE (no programa chamada D_m , contrariando a convenção universal), o nível de pressão sonora gerado pelo orador em DAE (EAD), o nível de pressão sonora médio em D_2 que se deseja do sistema de reforço, D_0 , e todas as informações referentes à sensibilidade do(s) falante(s) utilizado(s). Como resposta, temos a informação do PAG, do NAG e da EPR.

Finalmente, o “performance meter” oferece a avaliação da qualidade prevista para o sistema em termos de microfonia. No caso da figura 6.280 a performance será “good”.

O calculador tanto pode ser utilizado para casos de fonte única, ou para fonte dupla como mostra a figura 6.280, quanto para falantes distribuídos, como mostra a figura 6.281. Neste caso, ilustrado na figura 6.282, os falantes são 6. A aparência da tela ainda é a mesma.

As figuras 6.280 e 6.281 mostram as posições das janelas nas quais devemos informar os dados, e as janelas onde aparecem os cálculos efetuados pelo programa. Quando deixamos de informar qualquer item indispensável, somos imediatamente avisados.

A figura 6.282 ilustra um caso de “venue”. A imagem de fundo é a de um auditório convencional, o mais típico de todos os “venues”.



figura 6.281 tela do PAG-NAG Calculator, caso de falantes distribuídos cortesia Lectrosonics, Inc.



figura 6.282 tela do PAG-NAG Calculator, caso de “venue” tipo auditório cortesia Lectrosonics, Inc.
Aberta quaisquer das telas, aparecem 4 menús suspensos.

O menú **file** possibilita abrir trabalhos já existentes e previamente armazenados, salvar novos, imprimir e sair do programa. O menu “view” possibilita escolher o zoom entre as alternativas 100%, show all, zoom in, zoom out, full screen e quality. Este último com as opções high, médium e low. O menu control possibilita escolher play, rewind, step forward,

step back e loop. O menu Help trata de ajuda do Macromedia Flash Player.

As janelas de preenchimento são PAG, NAG e PWR (power).

PAG tem espaços para NOM, D_1 , D_2 , D_0 e D_S .

NAG tem espaços para D_m , L_d (SPL), L_r (SPL) e D_0 .

PWR tem espaços para Speakers (a quantidade de falantes), Sensitivity, Power (PEN), distância e PPC.

Portanto, há recursos para selecionar o modo fonte única ou falantes distribuídos.

Como sabemos, a FSM mínima é 6,0 dB. E é essa figura considerada nos cálculos. Neste programa, PPC é abreviatura para Peak Program Compensation, que chamei antes de TPM, para Transient and Peak Margin. Aliás, seguindo convenção internacional. Podemos estabelecer qualquer valor para o PPC. Quando ele é nulo, então o cálculo de potência indica valores médios. Estabelecido um valor positivo para a FSM, que informamos em decibels, então o cálculo de potência informa o valor médio mais a TPM.

Quanto às unidades, podemos escolher pés ou metros.

Embora muito útil, devemos empregar esse calculador com a cautela necessária. Isto porque, uma vez que ele não considera quaisquer elementos acústicos, as perdas equivalentes às diversas distâncias não são calculadas como nas expressões 6.20 e 6.21, que são consideradas corretas. Ao invés disso, os cálculos feitos pelo calculador consideram sempre que as perdas equivalentes às distâncias são como num ambiente é externo. Como consequência, os resultados perdem acuidade. E quanta acuidade é perdida é algo que depende exatamente das características acústicas do ambiente.

Bem, esse é o resumo dessa ferramenta, de uso muito rápido.

6.12.2 Alinhamento de Sistemas Esta classe de software é discutida no capítulo 12, que trata especificamente de alinhamento de sistemas.

Os seguintes programas foram escolhidos: o Analisador TEF, o Smaart da SIA, o LAUD da Liberty, já descontinuado e seu sucessor, também da Liberty, o PRÁXIS, o SIM II da Meyer Sound e o MPP, também da Meyer Sound.

6.12.2.1 O CLIO

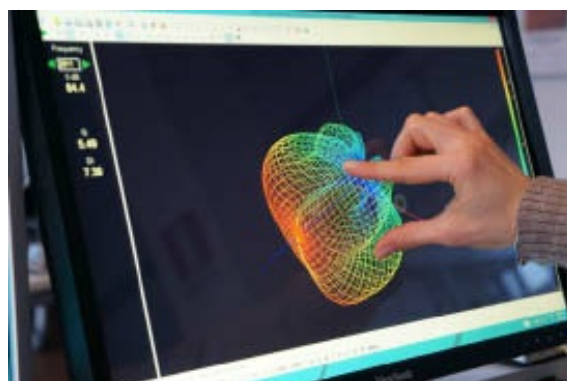


figura 6.283 medições eletroacústicas nas pontas do seu dedo cortesia Audiomatica Apresentado oficialmente em fevereiro de 1994, Paris, na 90ª Convenção da Audio Engineering Society, o CLIO é um instrumento completo de medições elétricas e eletroacústicas baseado em PC. A italiana Audiomatica, de Florença, é a mãe desse sistema, considerado muito poderoso e preciso.

O CLIO pode ser empregado para medições gerais de redes elétricas, para medições de aparelhos eletrônicos, para o levantamento das características eletroacústicas de alto-falantes e de caixas acústicas, para a medições de parâmetros de telefones e de dispositivos de auxílio à audição, para o estabelecimento do nível de ruído ambiente (NRA) em quaisquer ambientes abertos ou fechados, para a medição dos atributos acústicos de ambientes e como elemento “passa ou barra” no CQ (Controle de Qualidade) de linhas de produção.

O sistema CLIO opera em computadores convencionais. A versão 11 é compatível com os sistemas operacionais Windows XP, Vista, 7 e 8. Este software é oferecido em duas versões: Padrão e QC.

A primeira é uma versão padrão de laboratório, que prima pela acuidade e inclui praticamente todas as medições necessárias no dia a dia do engenheiro de áudio, exceto aquelas utilizadas exclusivamente nas linhas de produção.

A segunda versão é a primeira acrescida das funções próprias para o Controle de Qualidade próprio das linhas de produção.

A maioria dos usuários do CLIO concorda com a Audiomatica, que sustenta que seu software enfeixa numa só peça a habilidade de muitos instrumentos isoladamente considerados.

Esta é a implementação de medições de sistemas lineares através das técnicas de análise MLS, nessa última versão do CLIO subsidiadas pela alternativa de uso de trinados (chirps) logaritmos.

Essas técnicas possibilitam fazer avaliações objetivas por meio de ruídos de impulso obtidos com o auxílio de algoritmos muito sofisticados. Os ruídos de impulso obtidos revelam avaliações completas dos atributos acústicos de recintos fechados e, de outro lado, as medições anecóicas de alto-falantes de forma muito precisa.

Todas essas medições são de acuidade típica de laboratório e obtidas de forma muito rápida.

Uma das grandes vantagens do CLIO é que ele se vale de três técnicas diferentes de medições, a saber: técnica 1 - análises MLS e logchirp Os resultados podem ser analisados em tempo real e/ou armazenados para processamento posterior. O modo de análise MLS e log chirp faculta a obtenção de: • estímulos digitais com tamanho de até 2 mega amostras • dispêi combinado de resposta de frequência de resposta de impulso (ver figura 1) • resposta de fase com captura de auto delay e cálculo de fase mínima e máxima • atraso de grupo • medições de impedância • resposta em degraus • ETC (Energy Time Curve) • decaimento de campo reverberante Schroeder • janela de análise programável • média de temporização manual ou

contínua • elo de medição contínuo • operações matemáticas dos dados aferidos • fusão automática dos compôs próximo e remoto • suavização de frequência (1/2 a 1/12 de oitava)

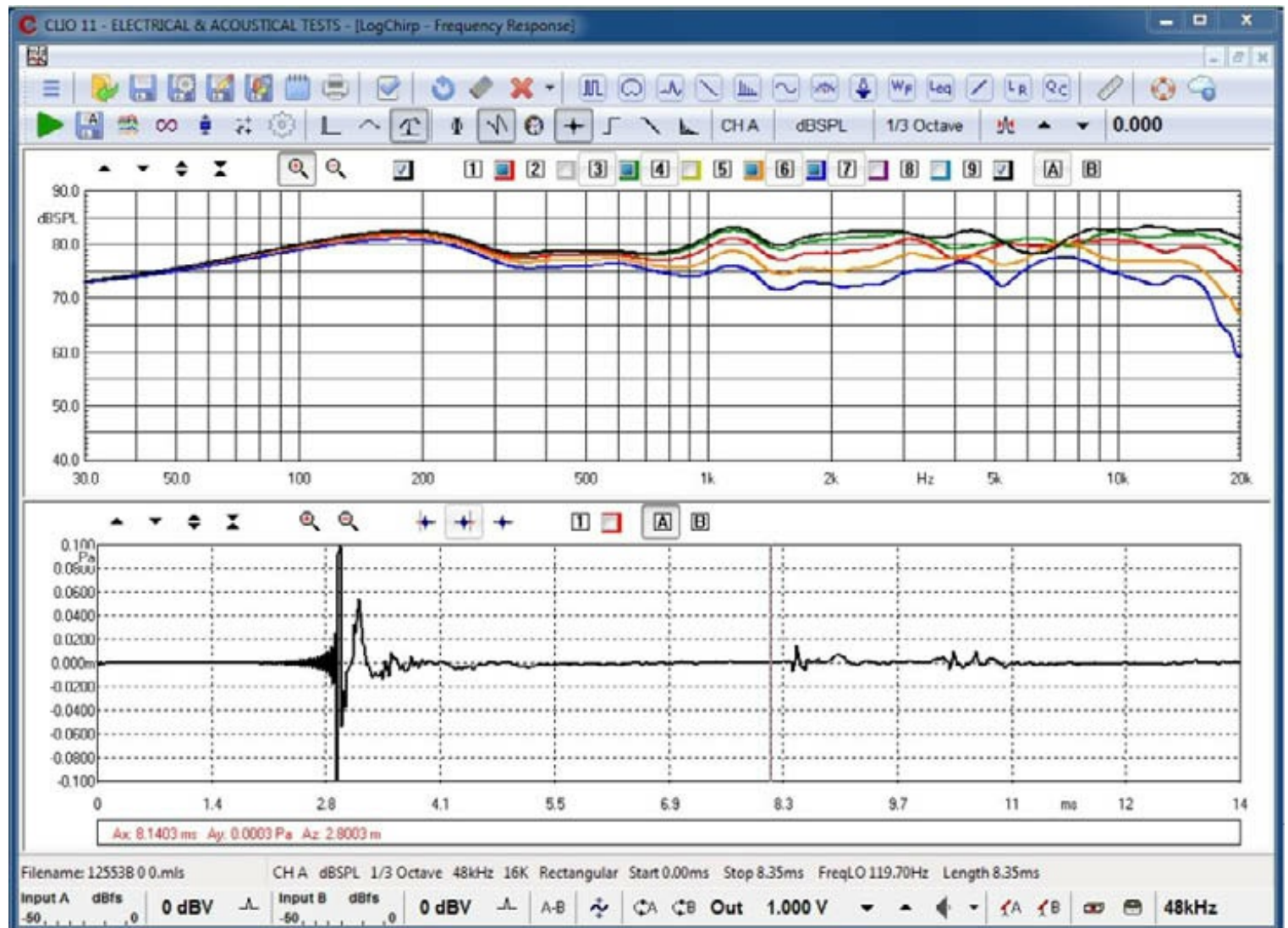


figura 6.284 aspecto de tela mostrando resposta de frequência (acima) e resposta de impulso (abaixo), no modo Análise MLS e log Chirp cortesia Audiomatica técnica 2 - varreduras sinusoidais Esta técnica que efetua análises de ondas sinusoidais emprega um filtro digital no sinal de entrada. A intenção é conseguir elevada imunidade a ruídos e, assim, melhorar o desempenho das medições. Que já contam com os recursos computacionais dos computadores para a grande maioria das análises comuns de frequência.

A técnica das varreduras sinusoidais empregada no CLIO é especialmente orientada para as seguintes medições:

- varreduras duplas simultâneas para avaliações de sinais estereofônicos quanto a resposta de frequência, DHT (Distorção Harmônica Total), raspagem e zumbido (rub & buzz, ver quadro adiante) e resposta de impedância
- respostas de fase
- diferenças das respostas entre os canais A e B

- varreduras contínuas e em degraus
- varreduras de equalização amplitude versus frequência
- resolução de frequência de 1/3 de oitava a 1/192 de oitava
- gráficos de distorção versus frequência de DHT e de distorções de 2ª a 10ª harmônica ou de ordem superior
- gráficos de medições rápidas de “raspagem e zumbido” versus frequência
- sincronização de sistemas através de atrasos de sinais para medições quase-aneecóicas

raspagem e ruído (rub and buzz) é um modelo de medição de análise harmônica empregado em áudio e eletroacústica, que foca quase que exclusivamente nas harmônicas de ordem muito elevadas, usualmente 10ª ordem ou ainda mais elevada. Tais ruídos podem ser facilmente produzidos por compressores de ar condicionado, de geladeiras e outros, por ventoinhas de computadores, por motores elétricos, por aparelhos auditivos e por transdutores de fones de ouvido convencionais, por alto-falantes, por telefones celulares, por televisores e tantos outros. Com efeito, o assim chamado ruído de raspagem e zumbido, geralmente produzido por partes vibrando, é um gênero peculiar de ruído não linear, de perfil irregular e, acima de tudo, impulsivo, o que o torna particularmente incômodo e repudiado. Em razão destes pulsos serem de duração muito efêmera e, também, dos reduzidos níveis de energia envolvidos, essa classe de ruídos usualmente não pode ser detectada por métodos convencionais de análise a exemplo dos feitos por analisadores RMS-FFT ou por técnicas desenvolvidas para a medição de DHT.

técnica 3 – RTA e função transferência em tempo real As medições implementadas com estas técnicas são obtidas através de um painel de controle interativo que possibilita a visão simultânea dos fenômenos nos domínios do tempo e da frequência, com três modos operacionais, que são: FFT de banda estreita, RTA por bandas de oitavas e função transferência “ao vivo”, ou, como prefiro chamar, em tempo real.

Com esse repertório é possível adquirir:

- medições e apresentações gráficas em dois canais
- gatilho interno e/ou programado, com temporização
- FFT com 512 pontos a 256.000 pontos
- obtenção de médias lineares ou exponenciais
- funções de congelamento de máximas e de mínimas
- eixo de frequências apresentado em escalas lineares ou logarítmicas
- displêi de RTA em bandas de 1 oitava, de 1/3 de oitava e de 1/6 de oitava
- displêi de curvas de contorno de mesma audibilidade
- suavização de frequência
- testes de desempenho de subwoofers amplificados, incluindo a capacidade de produção de máximo SPL contínuo bem com a combinação de SPL contínuo e de pico (este gerado por sinais com fator de crista definido), tudo conforme Padrão de Medição ANSI CEA 2010

Além dessas medições, que podem ser consideradas de praxe, o CLIO possibilita fazer algumas medições bem específicas, entre as quais estão:

- linearidade e distorções de aparelhos eletrônicos
- medidor de nível de pressão sonora com recursos de integração temporal sônica conforme norma IEC61672, incluindo medições de LEQ e análise de frequências
- ponte LCR (indutância–capacitância–resistência) interativa para a medição de componentes eletrônicos
- medição de “wow e flutter” com análise de tempo e de frequência
- frequencímetro de precisão
- O CLIO oferece um arsenal de ferramentas para pós processamento e obtenção de
- parâmetros Thiële-Small de alto-falantes
- parâmetros acústicos e STI (Speech Transmission Index) conforme norma ISSO 3382

- análise de diretividade de alto-falantes, caixas acústicas e clusters, na forma de mapas

coloridos 2D, mapas circulares e gráficos waterfall ou balões 3D (apenas na versão QC) • análise tempo-frequência para a avaliação de decaimentos espectrais cumulativos, curvas ETF (Energy Time Frequency) e análises wavelet (ver box adiante), tanto na forma de gráficos 3D quanto de mapas coloridos • calculador de classificação de audibilidade para medições RLR (Receiving Loudness Rating), SLR (Send Loudness Rating) e STMR (Side Tone Masking Rating), parâmetros esses definidos na norma ITU-T (CCITT) Recommendation P.79

wavelet - o termo, emprestado do jargão da matemática, define um algoritmo muito eficaz para comprimir e descomprimir as informações de fase e de frequência contidas em sinais de áudio transmitidos de um para outro ponto.



figura 6.285 amplificador, seletor e bloco de testes Modelo 5 da Audiomática cortesia Audiomática O CLIO 11 é o software de controle que trabalha com o Amplificador, Seletor e Bloco de Testes Modelo 5, que pode ser visto na figura 6.285.

O Modelo 5 é uma unidade controlada pelo computador através de uma simples porta USB. O amplificador do conjunto é de 50 watts @ 8,0 ohms com controle CC.

As entradas são 4, todas com possibilidade de contar com o recurso “phantom power”, programável de 0 a + 24 volts.

Há duas entradas dedicadas a medições de voltagem CC.

O Modelo 5 dispõe de uma saída com sensor CC para medição de correntes elétricas.

Ademais, o hardware conta com uma porta I/O para finalidades gerais.

Tudo isso posto gostaria de detalhar algumas das funções do CLIO que considero importantes. Vejamos então.

multi testador

Este é um instrumento do CLIO controlado por um painel interativo com capacidade para fazer as seguintes medições: • SPL (dB SPL, dB Pa, dBA e dBC) • voltagem (volts, dBV, dB u e dBr) • deslocamento (metros e Δ ou dBmetro) • velocidade (m/s e dBm/s) • aceleração (g, m/s² e dBm/s²) • corrente elétrica (ampères) • potência elétrica (watts) • contador de frequência (Hz) • distorção (DHT, DHT + ruído e DIM %, ou distorção por intermodulação) • ponte LCR (Henry, microFarads e ohms) • fator de crista • integrações rápidas e lentas gerador de sinais

Esse gerador, totalmente programável, é capaz de realizar funções e produzir sinais tais como: • sinais sinusoidais com disparos transientes e FFT bin circular • disparos CEA otimizados • tons múltiplos e todos os tons • chirps lineares e logarítmicos • MLS (Maximum Length Sequence) • ruídos branco e rosa • arquivos *.wav que podem ser reproduzidos e/ou registrados • varreduras interativas • filtros passa altas e passa baixas interativos medições de impedância e de parâmetros Thiële-Small Tais medições podem ser realizadas através de ligações diretas feitas com o hardware a ser analisado, mediante uso de amplificador externo e resistor sensor, ambos configuráveis para o modo corrente constante ou voltagem constante, mas também com o Modelo 5 antes referido com sensores de corrente ou, ainda, com o emprego das técnicas de 2 canais modo voltagem/corrente.

A determinação dos parâmetros Thiële-Small pode ser feita com uma única passagem, com técnicas não invasivas, com medições de deslocamento laser ou através da conhecida e popular técnica de aumentar a massa do cone ou, ainda, com os consagrados métodos de gabinetes com volumes conhecidos com rotinas de menores erros quadráticos.

diretividade e balões 3D

De fato o CLIO tem capacidade de medir e analisar as propriedades de radiação de um alto-falante ou caixa acústica no espaço. É necessário utilizar hardware adicional específico para isso, mais especificamente mesas giratórias que são submetidas a controle do CLIO que se vale de rotinas para capturar a geralmente enorme quantidade de informações que esse processo gera. A seguir o módulo de Análise de Diretividade do software utiliza rotinas para a geração 3D dos balões, possibilitando a análise rápidas de: • diagramas polares clássicos • gráficos de mapas coloridos de diretividade • gráficos de diretividade do gênero waterfall • análises detalhadas dos balões 3D

Afora isso também é possível exportar dados para o EASE (formato .xhn), para o CLF (formato .tab) ou na forma de ruídos de impulso.

ferramentas para análise de resposta de frequência Essas ferramentas incluem o pós

processamento das informações levantadas para a obtenção de várias representações decaimento de energia versus tempo.

Por exemplo, os seguintes resultados podem ser avaliados: • decaimento espectral cumulativo • curvas ETF (Energy Time Frequency) • análises wavelet Quaisquer gráficos podem ser vistos na forma 3D clássica, ou como waterfall e mapeamentos coloridos.

análises de L_{EQ}

O painel de controle do analisador L_{EQ} do CLIO permite capturar em tempo real e processar essas informações, também em, tempo real, de quaisquer tipos de sinais presentes nas entradas do CLIO. Nessas condições o desempenho do instrumento se assemelha ao registrador de níveis com dados de captura “direct-to-disk”.

Ao analisar um evento acústico o painel de controle oferece informações completas sobre nível de pressão sonora contínua equivalente (L_{EQ}) e quantidades com isso relacionadas, sempre de acordo com o Padrão IEC 61672.

Se utilizado simultaneamente com o analisador de frequências RTA é possível obter um medidor de nível de pressão sonora do tipo integrador.

parâmetros acústicos e STI O CLIO permite que se faça uma avaliação bastante profunda das propriedades acústicas de quaisquer salas, partindo do ruído de impulso. Permitindo, ainda, o pós processamento de forma muito sofisticada de cálculos de parâmetros acústicos conforme Padrão ISO 3382. Nesse contexto o STI – Speech Transmission Index também é facilmente calculado.

Eis aí uma ferramenta muito útil para desenvolvimento de tratamentos acústicos detalhados em salas de concerto, estúdios, salas de música e quaisquer locais destinados à audição de música e, principalmente, à locução de voz humana. Como é o caso das igrejas.

linearidade e distorções Essas análises correspondem a uma ferramenta completa para a averiguação do comportamento não linear de aparelhos eletrônicos em geral tais como pré amplificadores, processadores de sinal e amplificadores de potência. Por exemplo, é possível investigar: • comportamento de amplificadores com regimes de potência de até 1.250 watts @ 8,0 ohms ou mais, com o auxílio de atenuadores • DHT versus entrada ou saída • intermodulação SMPTE, DIN ou CCIF

• ganho do DUT (Device Under Test) e desvios da linearidade análises de wow e flutter As análises de wow e flutter visam medir a frequência de modulação que segue variações instantâneas de velocidade resultantes de imperfeições de dispositivos de gravação e de reprodução em geral. Assim é possível aferir padrões IEC e NAB e exibir os resultados na forma de displêis de tempo versus frequência.

controle de qualidade O CLIO pode efetuar uma ampla série de medições para efeito de Controle de Qualidade de produção de aparelhos em geral, estabelecendo “limites” dentro dos quais os resultados das medições individuais dos aparelhos devem se situar para efeito de aprovação do CQ.

A seguir apresento algumas telas do CLIO 11, o que fiz com a intenção de oferecer ao caro leitor uma noção geral bem clara e objetiva do que é esse software, que tem sido cada vez mais empregado em áudio profissional.

Para melhor aproveitar todos esses elementos, sugiro que o leitor que examine com calma e pormenorizadamente cada uma das representações gráficas e cada um dos recursos constantes das telas apresentadas.

Para mais detalhes basta consultar o site do distribuidor no Brasil, a empresa EAM – Eletro Acústica Mass do meu querido Vitória, que é www.eam.com.br

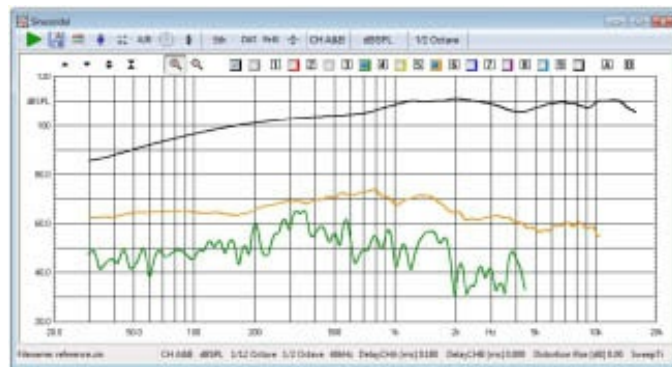


figura 6.286 resposta de frequência (curva preta), DHT (curva laranja) e harmônicas (curva verde)
cortesia Audiomatica

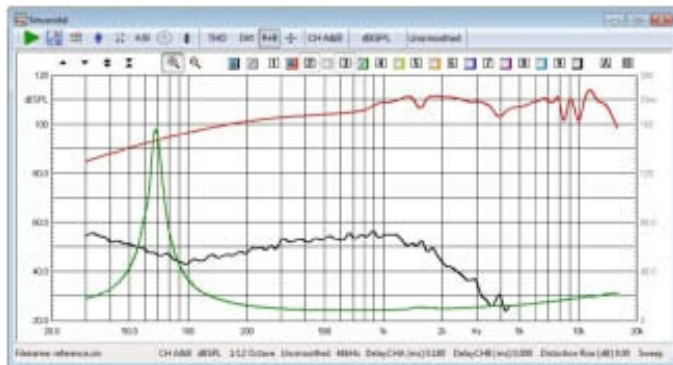


figura 6.287 resposta de frequência (curva laranja), impedância (curva verde) e rub&buzz (curva preta)
cortesia Audiomatica

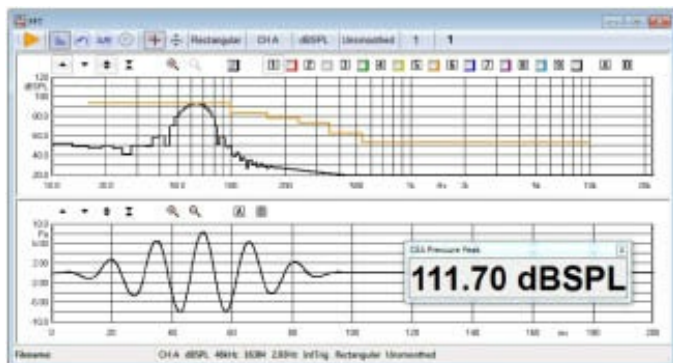


figura 6.288 teste CEA com FFT de banda estreita cortesia Audiomatica

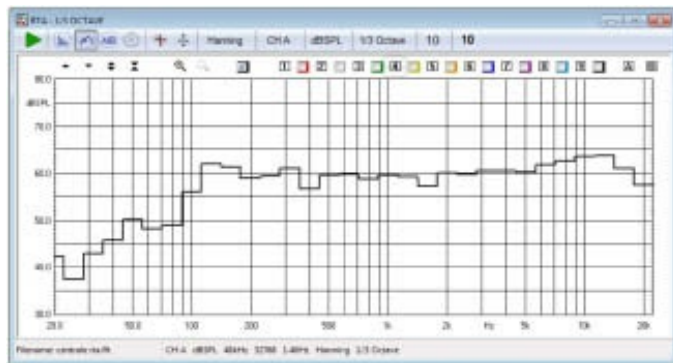


figura 6.289 RTA com banda de 1/3 de oitavas cortesia Audiomatica

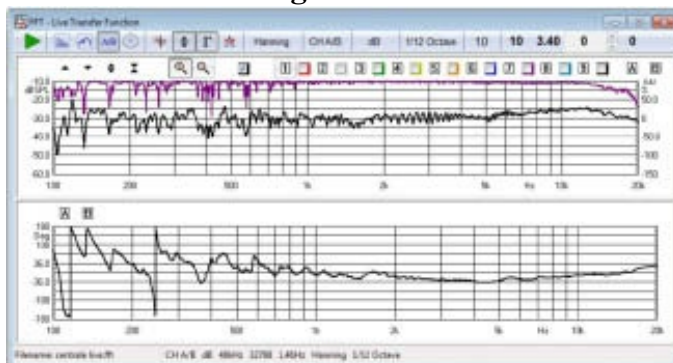


figura 6.290 função transferência em tempo real cortesia Audiomatica



figura 6.291 função multi testador com gerador de varredura programável cortesia Audiomatica

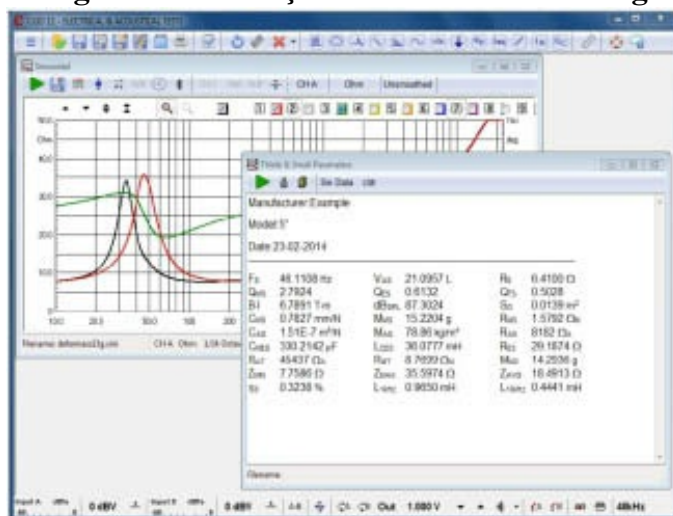


figura 6.292 impedância de alto-falante e parâmetros Thiele-Small cortesia Audiomatica

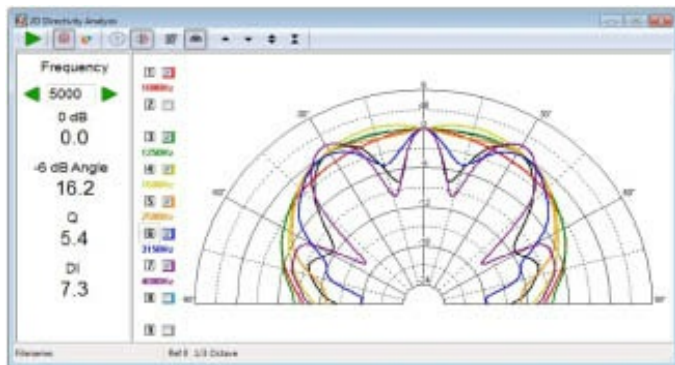


figura 6.293 displêi de diagrama polar com cálculos auxiliares de relação de diretividade e de índice de diretividade cortesia Audiomatica

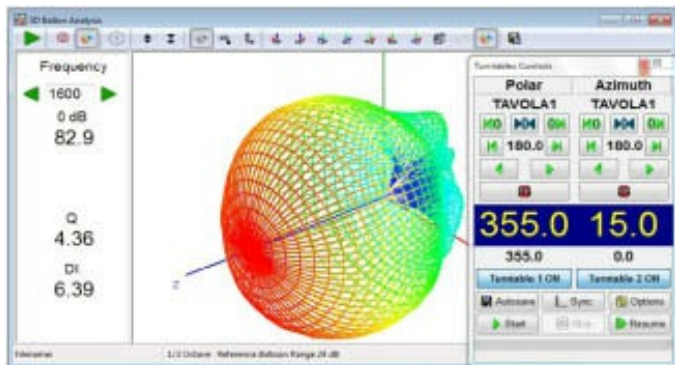


figura 6.294 balão 3D com controle interativo de prato giratório cortesia Audiomatica

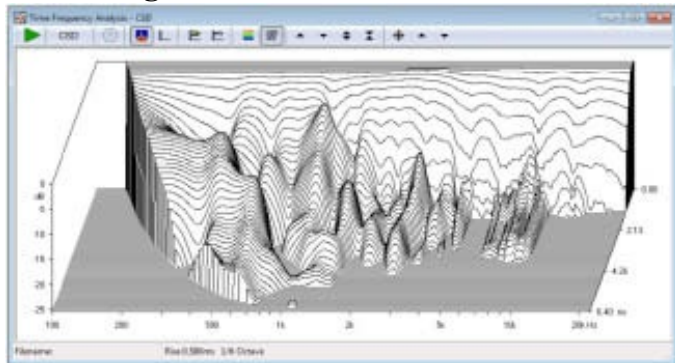


figura 6.295 decaimento espectral cumulativo (curvas waterfall) cortesia Audiomatica

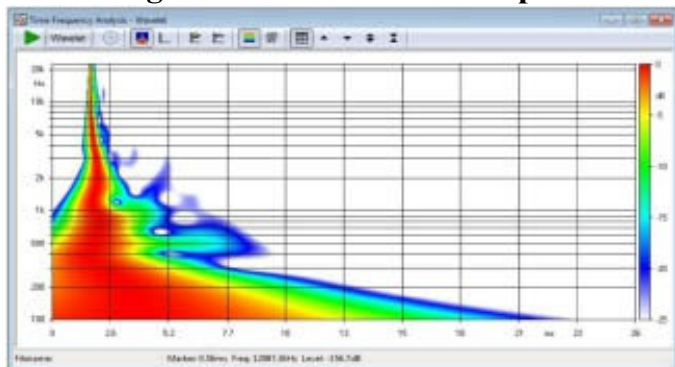


figura 6.296 análise wavelet cortesia Audiomatica

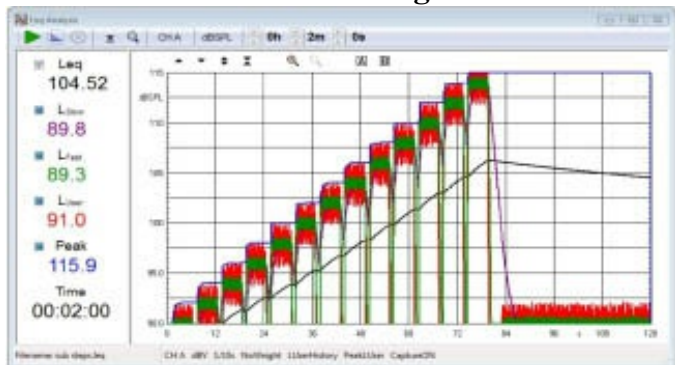


figura 6.297 análise de L_{EQ} cortesia Audiomatica

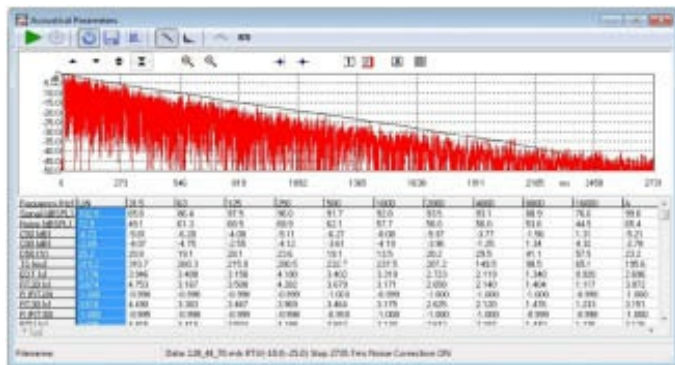


figura 6.298 medição de parâmetros acústicos conforme Padrão ISO 3382 Acústica – Medições de Parâmetros Acústicos em Salas cortesia Audiomatica

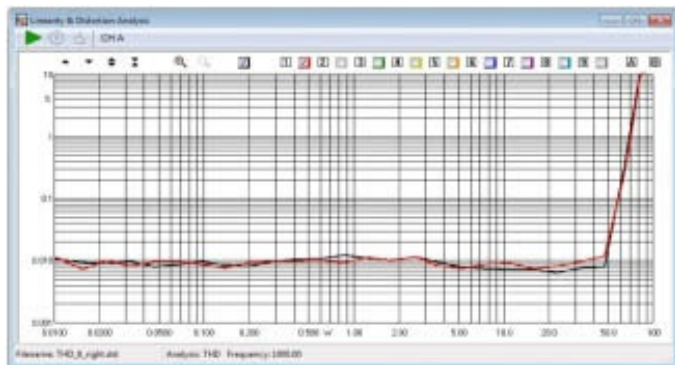


figura 6.299 medições de distorções versus potência de saída cortesia Audiomatica O mais recente lançamento da Audiomatica é o CLIO Pocket. Trata-se de uma versão portátil multi plataforma de uso pessoal, com ampla capacidade de medições eletroacústicas.

Veja a maleta plástica com todos os componentes do CLIP Pocket na figura 6.300.



figura 6.300 CLIO Pocket com todos os seus componentes cortesia Audiomatica A figura mostra a maleta e em seu interior o interface de áudio CP-01, o CD com o software3 e todos os drivers necessários, o microfone MIC-02, um cabo USB, um cabo RCA-RCA de 2,7 metros para a ligação do microfone e um cabo RCA-jacarés para a medição de impedâncias.

O resumo do que o CLIO Pocket oferece: análise FFT e RTA

Como analisador FFT de banda estreita • analisador FFT de banda estreita • tamanho FFT: 4.096, 16.384 e 65.536 pontos • taxas de aquisição: 1.36 s até 42 ms • gama de frequências: 10 Hz a 45 kHz • unidades de medições: dBV, dBu, dB rel e dB SPL

- time window: retangular, Hanning, Hamming, Bartlett e FlatTop • médias: linear ou exponencial • contagem para formação de média: 1 a 9.999
- função média contínua para soma à próxima marca linear • funções de retenção de valores máximos e mínimos • análise de displêi simultâneas de frequência e tempo • suavização de frequência (1/48 a 1 fração de oitava) Como analisador em Tempo Real de Fração de oitava (RTA) • bandas de RTA: 1/3 e 1/6 de oitava • gatilho programável

nos parâmetros atraso e limiar • função gatilho OneShot • dados adquiridos salvos em formato wav • exportação de dados ASCII para arquivo ou clipboard • exportação de dados gráficos para arquivo ou clipboard, de sorte a facilitar a elaboração de relatórios gerador de sinais e controles de saída Como painel dedicado com controles “on the fly”

- reprodução de arquivos wav • calculador de formas de onda com elevado grau de otimização • forma de onda 1: sinusoidal, FFT bin otimizado • forma de onda 2: duas ondas sinusoidais com amplitudes relativas • forma de onda 3: disparo CEA com controle de ciclos e FFT bin otimizado • forma de onda 4: ruído branco • forma de onda 5: chirp logaritmo ou linear com tamanho de até 256K e frequências de início e de parada • forma de onda 6: ruído rosa, FFT ajustada, pseudoaleatória e fator de crista reduzido • forma de onda 7: todos os tons, FFT ajustada e fator de crista reduzido Como superfície dedicada da janela principal sem controles de saída • todos os controles de velocidade até “hot Keys”
- níveis de saída direto de 3 dígitos • botão de controle para incrementos de 0,1 dB ou 1,0 dB

multitester de entrada e controles voltímetro com escala livre e medidor de nível de pressão sonora com medidor barragráfico • unidades de medidas: volts, dBV, dBr e dB SPL

- integrações: lenta, rápida e impulso • ponderação: A
- gama de medição de voltagens: faixa de μV a 100 volts rms • tipo de medições de DHT: % e dB
- resolução de leitura de frequências: 0,1 Hz • medições diretas de sensibilidade de microfones • medições diretas de voltagens de referência ponte LCR interativa
- medição de componentes: resistores, capacitores e indutores Como superfície dedicada da janela principal com controles de entrada • todos os controles de velocidade até “hot Keys”
- botão de controle para incrementos de 10,0 dB
- botão de elo fechado entrada-saída • inversão da polaridade de entrada • ganho de entrada tipo autorange • phantom power para microfone waterfall

análises de decaimento com formato 3D e gráfico controlado por tornel • possibilidade de apresentação de múltiplas janelas para efeito de comparações • análises de chirp log de resposta de impulso de dados temporais FFT

- decaimento espectral cumulativo clássico para alto-falantes • suavização de frequência (1/48 a 1 fração de oitava) • operação referencial • eixos de frequência, de tempo e de amplitude totalmente configuráveis • quantidade de espectros: 15 a 120

parâmetros Thiële-Small • painel interativo de controle para operação simplificada • parâmetros tipo “ao ar livre”

- adição de massa ou método do volume conhecido para estimativa completa de parâmetros • medição direta de CC de referência • possibilidade de apresentação de múltiplas janelas para efeito de comparações sistema
- sistema operando de forma nativa em Windows e OSX
- projeto de software orientado para toque e gestual • hardware baseado em driver USB dedicado • operação streaming ultra estável e livre de bugs sônicos • auto calibração por comparação com condições de calibração dos laboratórios Audiomatica • parâmetros de calibração arquivados para referência com padrões internacionais • advertência de assistência caso com o passar do tempo as especificações de quaisquer componentes divirjam dos valores nominais • advertência de segurança caso haja mudanças não autorizadas de parâmetros O CLIO Pocket pode ser instalado em qualquer computador pessoal tipo Pentium IV ou superior, com velocidade mínima de 2 GHz. Essa máquina deve dispor de porta USB 2.0 e possuir adaptador de vídeo 1.024 x 786, rodando Windows XP, Vista, 7, 8, ou 8.1) ou Apple Mac OSX 10.5 a 10.10.

A figura 6.301 mostra um aspecto do CLIO Pocket operando com PC notebook.

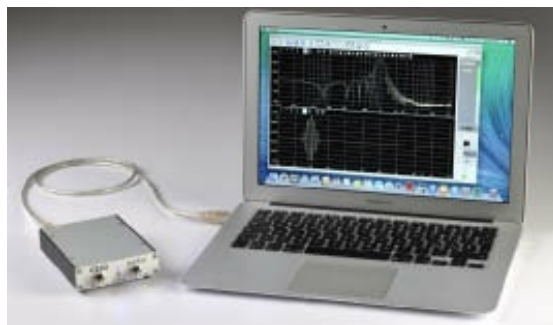


figura 6.301 CLIO Pocket operando com PC notebook cortesia Audiomatica O usuário pode definir o local exato no espaço onde pretende simular a audição, e também pode alterar as condições acústicas praticamente sem limites.

6.12.3 Acústica Os primeiros esforços de desenvolvimento de software para o áudio já contemplavam algumas das etapas dos projetos eletroacústicos que, cada vez mais, podiam ser parcialmente desenvolvidos com o auxílio de programas especializados.

6.12.3.1 O Aurora O Aurora é um programa que possibilita a auralização. Isto é, a audição através de fones de ouvido simulando todas as condições acústicas de um determinado espaço. O usuário pode definir o local exato no espaço onde pretende simular a audição, e também pode alterar as condições acústicas praticamente sem limites.

A versão 4.0 do programa é uma extensão feita para trabalhar com o Adobe Audition 11.5 (o ex Cool Edit Pro). Ela tem a forma de 15 plug-ins modulares padrão XFM mais um plug-in

modular padrão FLT. Esse conjunto contém todas as funções do programa incluindo a convolução rápida e em tempo real, que é a própria auralização, várias medições de ruído de impulso empregando técnica MLS, geração de ruídos de impulso de sinais de varredura, criação de filtros inversores, simulação de redes canceladoras de cross-talk, cálculos de parâmetros acústicos ISO 3382 e muitos outros.

Provavelmente, um dos recursos mais úteis do Aurora do ponto de vista do profissional do áudio é o conjunto de cálculos para o cômputo do STI (Speech Transmission Index), feito de acordo com os preceitos IEC 60268/16-2203, e do ASL (Speech Transmission Level), este de acordo com as especificações ITU-T P.56 de 1993.

O Aurora também dispõe de filtros escreve/leitura para análise de respostas MLSSA.TIM.

Para os quiserem informações adicionais sobre o Aurora 4.0, basta entrar no site www.ramsete.com/aurora. Uma vez lá, clique em News e vá diretamente para o Aurora 4.0. Nesse ponto você encontrará uma janelinha como a da figura 6.302.

A seguir, basta clicar em cada plug-in que você terá informações detalhadas de cada um deles. Vale a pena conferir.



figura 6.302 tela de plug-ins do Aurora acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Além disso, o site indicado contém inúmeras outras informações do programa.

Este programa é capaz de fazer a conversão UHJ para formato-B, discutido juntamente com o CATT-Acoustic. O UHJ é um outro padrão de arquivo estéreo, que inclui informações suficientes para reproduzir completamente quaisquer programas surround de até 8 canais no plano horizontal.

6.12.3.2 O Odeon

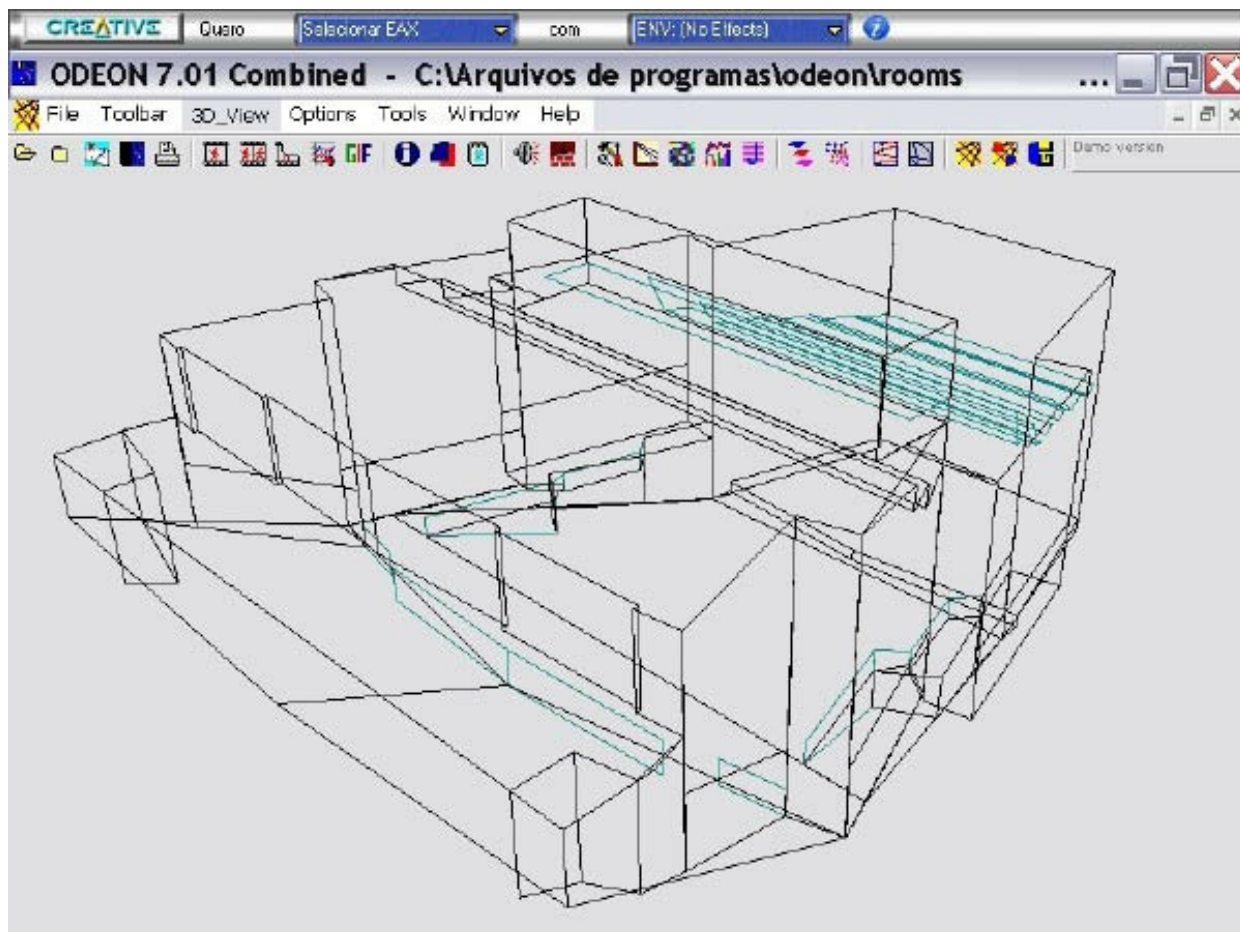


figura 6.303 o modelamento de um espaço típico, feito como na maioria dos demais programas que permitem o modelamento de espaços abertos e fechados acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Este é um programa muito elaborado.

Nascido na Dinamarca, além de um berço invejável, ele teve um bom impulso dado pela Brüel & Kjaer.

A ideia de criar um programa confiável para a simulação de parâmetros acústicos começou a se materializar em 1984, com o concurso de 6 empresas dinamarquesas de consultoria. Em pouco tempo a partir de 1984 foram investidas mais de 40.000 horas homem software para que o programa fosse o que é.

De início, ele foi orientado para resolver exclusivamente problemas de grandes espaços, como as Opera Houses e os Music Halls.

Mas a versão atual do Odeon já é muitíssimo mais abrangente. Não foi tão difícil assim criar dispositivos e ferramentas adicionais para que o programa original pudesse ter sua aplicação ampliada para casos reais do dia a dia.

Ainda bem que foi assim.

Como projetista posso lhes dizer que é muito bom poder contar com recursos variados já que cada programa se ajusta melhor a um conjunto determinado de condições.

Este é um programa muito potente, com uma infinidade de recursos. Praticamente todos os parâmetros acústicos podem ser simulados e avaliados, sempre com muita confiabilidade. O algoritmo de ray tracing, disponível desde as primeiras versões, tornou-se extraordinariamente eficiente na versão atual, o Odeon 7.0.

A auralização é um dos pontos fortes do Odeon, que tem funções multicanal. Isto é, pode trabalhar com sistemas surround 5.1, 7.1 e outros, até um total de 50 canais!! Isto mesmo, 50 canais.

O modelamento é feito com extraordinária facilidade neste programa, que apresenta alguns recursos inusitados, como avaliações de efeito Haas e outros.

As figuras 6.303, 6.304, 6.305, 6.306 e 6.307 dão uma ideia de como nos comunicamos com o Odeon.

Este é um dos meus programas prediletos.

Com efeito, dá muito prazer trabalhar com um soft que combina visual muito agradável com acuidade comprovada e que, além disso, é muito rápido. Essa velocidade decorre não só de algoritmos muito inteligentes, mas com uma arquitetura concebida para isso mesmo.

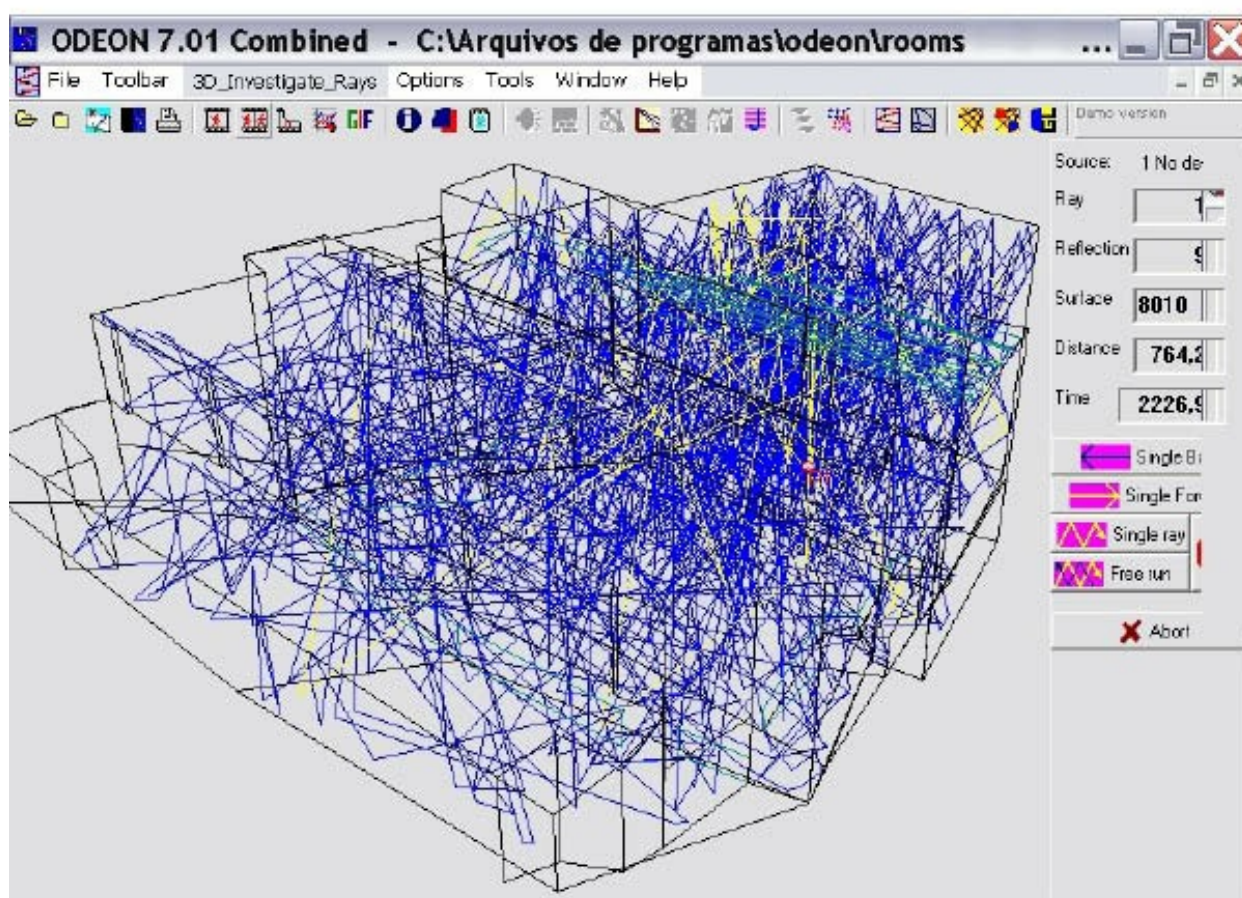


figura 6.304 o mesmo espaço da figura anterior, mostrando um ecograma como visto de uma perspectiva da parte posterior do teatro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

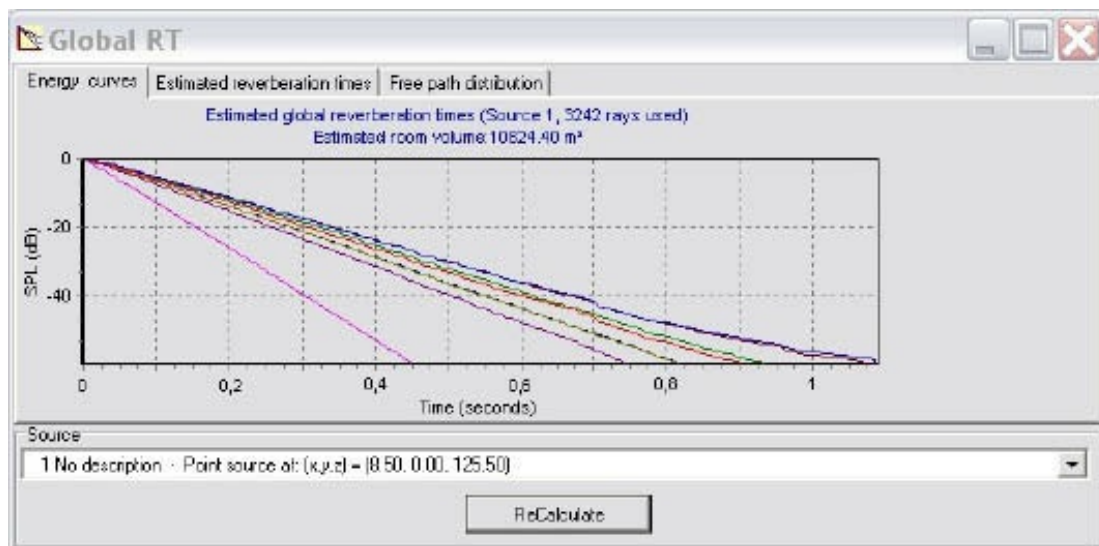


figura 6.305 estimativas de tempo de reverberação e correspondentes decaimentos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

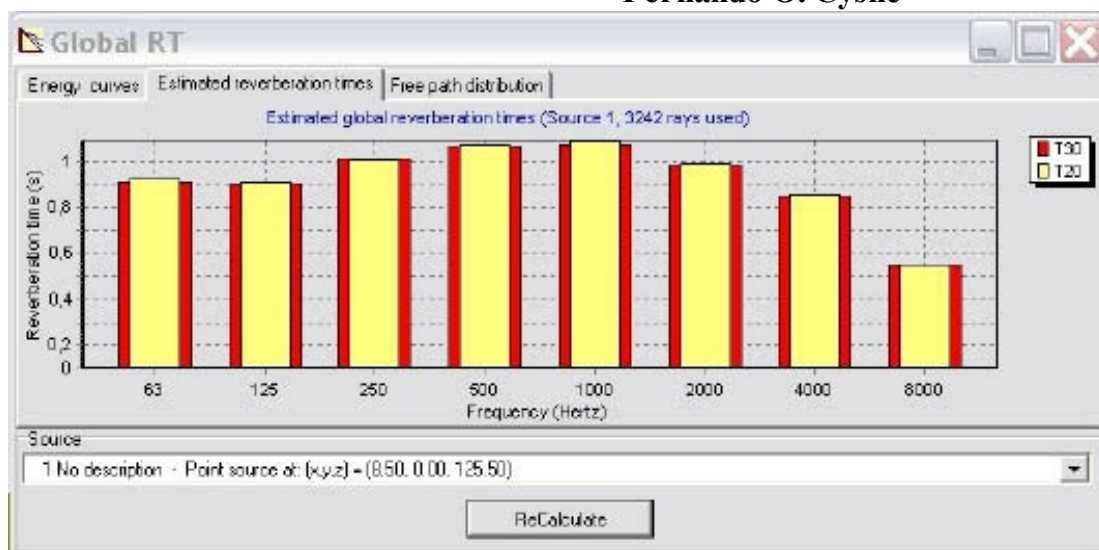


figura 6.306 estimativas de tempos de reverberação por bandas de oitavas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

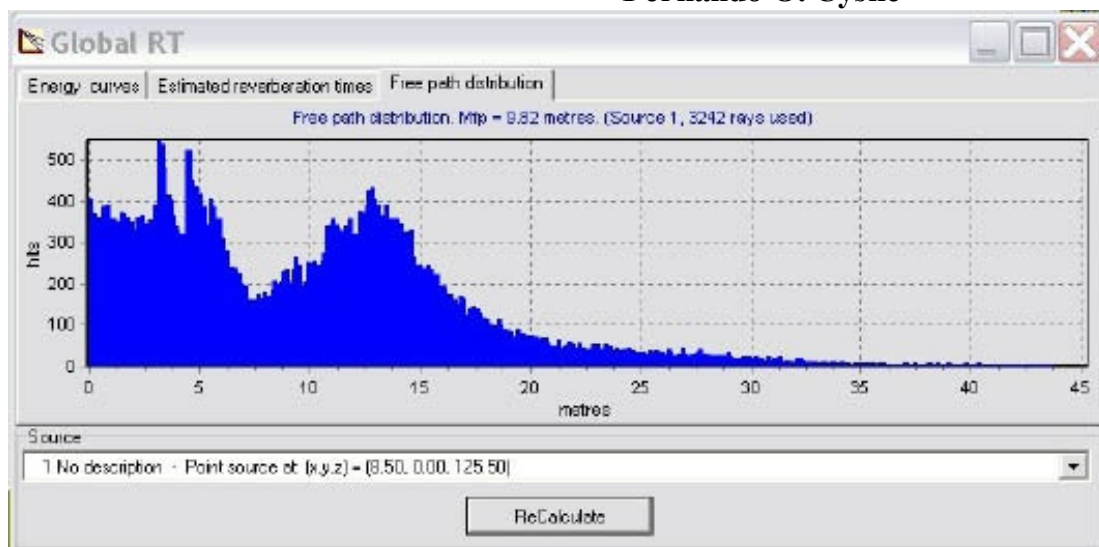


figura 6.307 estimativa de distribuição de energia para afastamento progressivo da fonte sonora acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 6.12.4 Falantes e Caixas Acústicas Vimos que muitas vezes a tarefa do profissional do áudio chega à customização das caixas acústicas.

Felizmente, também há uma enorme série de programas dedicados ao levantamento completo de dados dos falantes, e também, especificamente aos projetos de caixas acústicas.

Entre os mais empregados dos programas voltados para os falantes e as caixas acústicas estão o LMS e o LEAP, ambos da Linear X.

6.12.4.1 O LMS (Loudspeaker Measurement System) A Linear X é uma pequena empresa especializada em programas voltados para a medição de falantes e de caixas acústicas.

Fundada em 1993, a empresa que se estabeleceu próxima de Portland, Oregon, cresceu entre 100 e 300% nos seus primeiros quatro anos de vida.

As décadas de mercado dessa empresa, e o sucesso de sua empreitada atestam a qualidade de seus produtos.

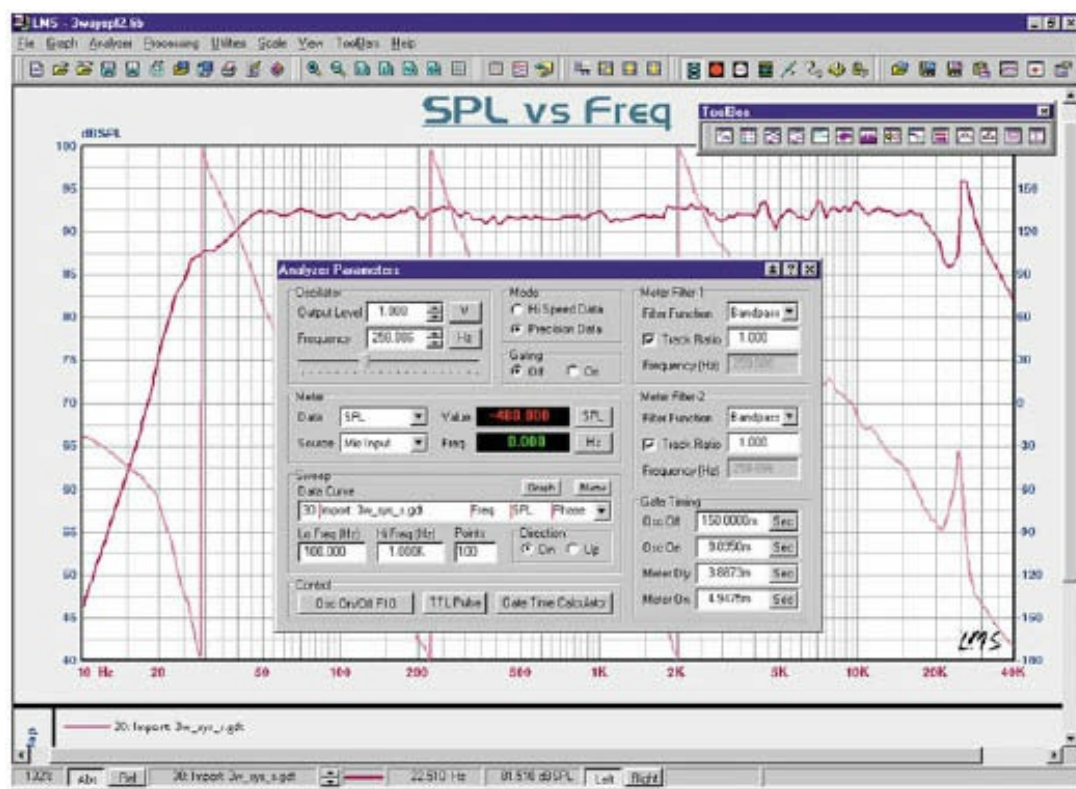


figura 6.308 tela do LMS mostrando curva de SPL versus frequência e fases, com barra de ferramentas e subtela contendo dados importantes relacionados com a curva principal acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne E um deles é o LMS, abreviatura para Loudspeaker Measurement system. Da família dos analisadores de sistemas, este é um dos campeões de venda.

Com efeito, esse pioneiro de primeira hora, que tem atravessado um bom tempo através de muitas atualizações, é um programa com interface amigável, de apresentação muito vistosa e considerado bastante preciso.

Nem poderia ser diferente com um produto que há mais de duas décadas é alimentado pela competente engenharia da Linear X, com o concurso muito valioso de todos os usuários, que identificam novas necessidades em caráter permanente e, ao mesmo tempo, apontam para direções nas quais acreditam que o mercado não atende satisfatoriamente.

Esse é o motivo que impulsionou a empresa a pensar na substituição do LMS pelo analisador LX500. Ainda assim, e principalmente em razão da enorme base de usuários criados, o LMS continuará a contar com todo o suporte técnico da empresa.

Quem tiver interesse em conhecer o LX500 pode entrar no site www.linearx.com

Por se tratar de um soft desenvolvido exclusivamente para a medição de parâmetros de falantes, sua organização é feita na forma de menus.

Há 5 menus principais: o do sistema, o de processamento, o utilitário, o de saída, e das livrarias.

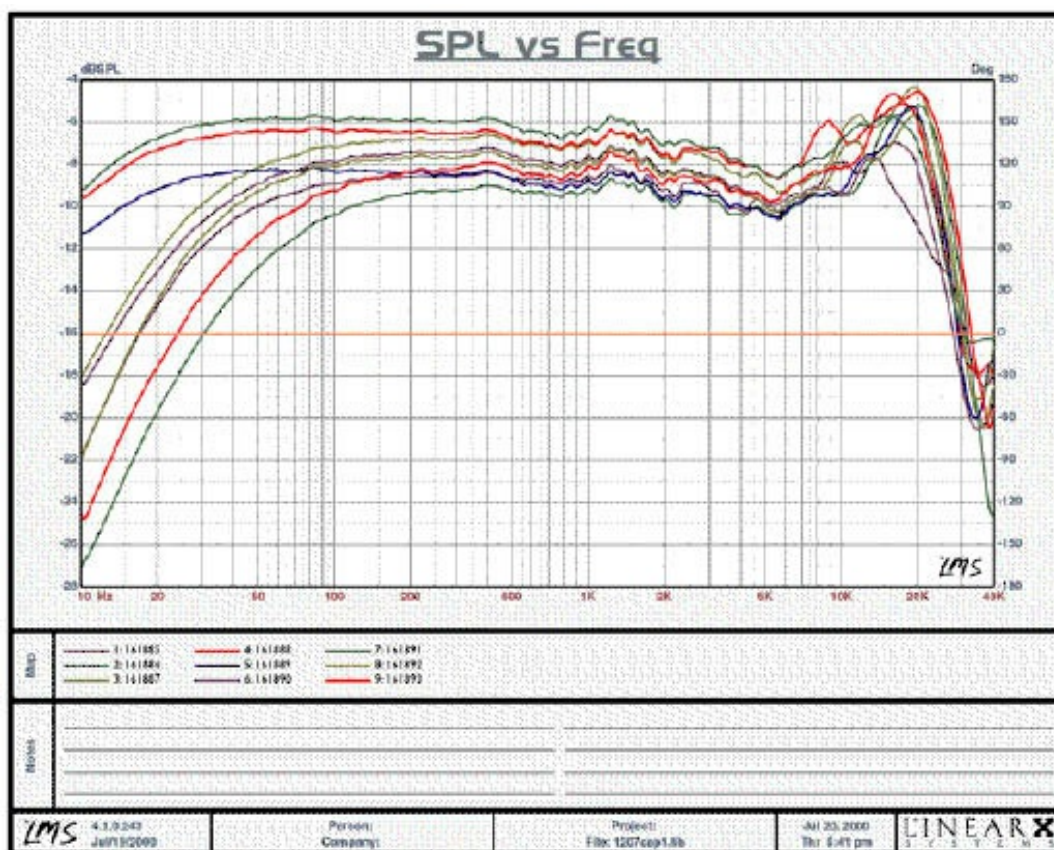


figura 6.309 é possível detalhar as curvas de SPL versus frequência praticamente sem limites acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

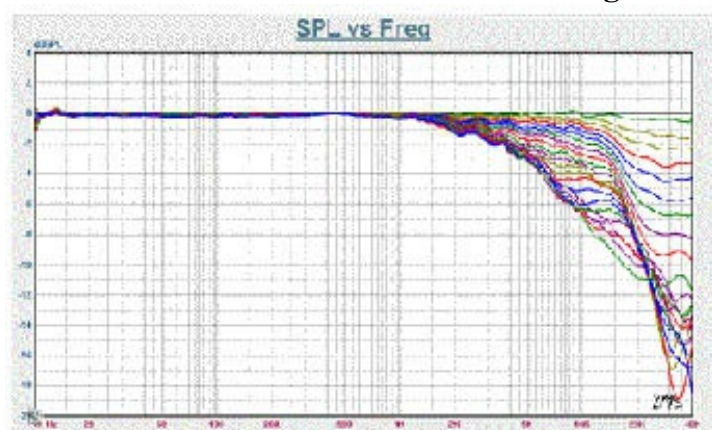


figura 6.310 também é possível visualizar as curvas de SPL versus frequência de muitas maneiras acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O menu do sistema possui comandos para controlar os parâmetros de processamento, para estabelecer a faixa de frequência de varredura desejada, para efetuar calibrações internas e externas, e para acionar os recursos de arquivamento das curvas dos microfones.

O menu de processamento possibilita ajustar escalas de trabalho e atrasos que devem ser impostos aos sinais, além das fases.

Preciso lhes dizer que lidar com esse programa é algo rigorosamente simples e direto.

Mesmo para quem abre o LMS pela primeira vez não há nenhum problema. O interface foi muito bem trabalhado ao longo dos anos de sorte que tudo parece muito intuitivo e os controles estão no lugar certo e na hora certa.

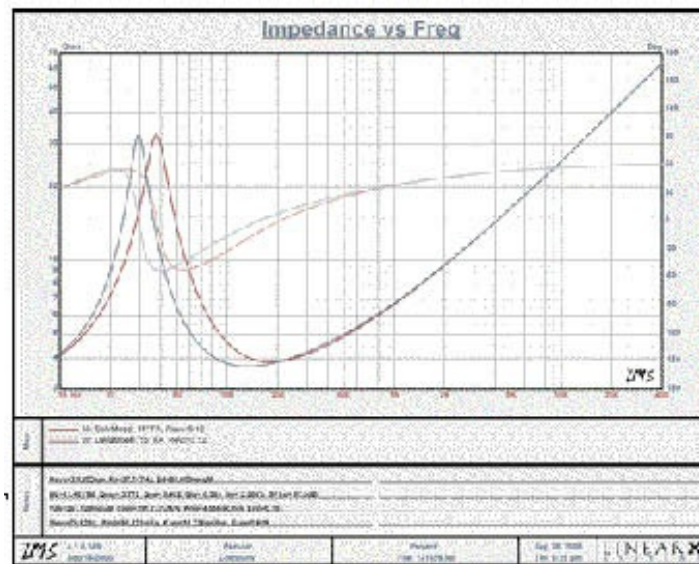


figura 6.311 as curvas de impedância e de fase podem ser levantadas com facilidade para falantes isolados e para os mesmos instalados em gabinetes, como mostra a figura acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O menu utilitário trata da importação e da exportação de dados, ativa o comparador, permite armazenar, abrir e editar parâmetros dos falantes, bem como acionar a conversão para os modos Nyquist e Polar.

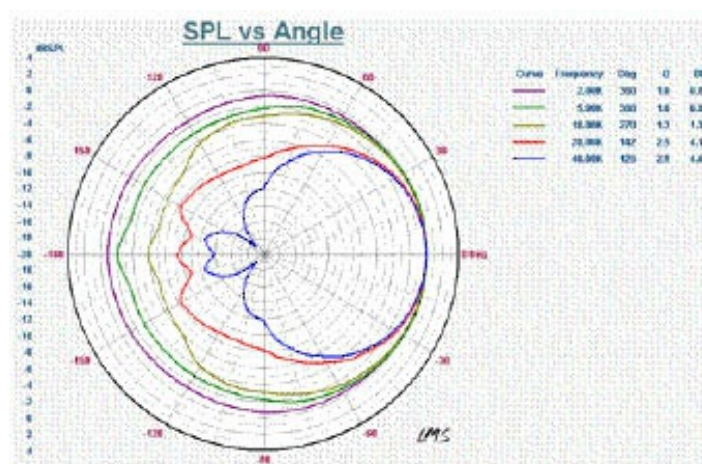


figura 6.312 como programa altamente especializado em falantes, o LMS levanta com muita velocidade as respostas polares de falantes para várias bandas de frequências acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O menu de saída permite formatar os arquivos de saída.

O menu da livreria possui um potente gerenciador de arquivos que possibilita fazer cópias de curvas, e que possamos dar nomes a cada curva.

Além disso, o LMS aceita e arquiva uma incrível quantidade de macros.

Também é possível ajustar o oscilador de medição, como níveis, frequências e parâmetros dos pulsos. Do mesmo modo, também podemos configurar e ajustar a qualquer tempo parâmetros dos filtros, bem como seus tipos e frequências.

6.12.4.2 O LEAP (Loudspeaker Enclosure Analysis Program)



figura 6.313 tela típica do LEAP, mostrando resposta de frequência com o microfone colocado no eixo da caixa acústica, e resposta de fase acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Este é um programa capaz de medir os parâmetros dos alto-falantes, e de projetar caixas acústicas, bem como filtros divisores de frequência.

Como o LMS, este também é um programa com interface amigável. Provavelmente, sua apresentação gráfica é ainda mais vistosa que a do LMS.

As medições são realizadas com extraordinária velocidade, e a precisão é um dos pontos fortes do programa.

A organização do programa para o usuário está dividida em quatro grupos principais de comandos e/ou menus: base de dados das livrarias, edição rápida, resultados gráficos, e comandos gerais.

Os comandos e menus da base de dados incluem os seguintes títulos: transdutores, caixas, projeto, divisores passivos, divisores ativos e correspondentes livrarias.

Os comandos de edição são apenas três, e designados por letras. Suas funções são óbvias.

Os comandos de resultados gráficos são todos voltados para nos mostrar os inúmeros resultados gráficos de cada conjunto de cálculos feitos pelo programa.

Os comandos e menus gerais incluem os seguintes títulos: utilitários, gráficos, otimizador (de filtros divisores de frequência), saída e sistema.

Para se ter uma ideia dos recursos, vamos ver o comando transdutores com um pouquinho mais de detalhes.

Você pode ver parâmetros já calculados pelo programa para um determinado falante, ou pedir que ele os calcule para um novo produto. Entre esses parâmetros estão os seguintes:

$$Z_{\text{NOM}} \\ R_{\text{evc}} K_{\text{rm}} K_{\text{xm}} E_{\text{rm}} E_{\text{xm}} S_d BL \\ V_{\text{as}} C_{\text{ms}} M_{\text{ms}} M_{\text{md}} F_i F_o \\ Q_{\text{ms}} Q_{\text{es}} Q_{\text{ts}} P_{\text{mx}} H_{\text{VC}} \\ H_{\text{ag}} X_{\text{mx}} C_{\text{mx}} C_{\text{mo}} \theta_{\text{vc}}$$

Os projetos das caixas são muito elaborados e detalhados, cobrindo praticamente qualquer

tipo de caixa acústica e uma ampla variedade de alinhamentos, além de perdas. O comando utilitários se divide num menu que aciona as funções QuickCab, Xover, Motorcons e VIZ.

A função Quickcab executa cálculos preliminares de qualquer tipo de caixa acústica. O Xover desenha as redes passivas ou ativas, informando respostas de amplitude, de fase e de atraso de grupo. O Motorcons calcula as constantes do sistema motor de qualquer falante, e o VIZ é um calculador de Voltagem, Impedância e Corrente na bobina do falante.

6.12.4.3 Selenium Este é um momento do qual podemos nos orgulhar.

Nosso querido Homero Sette Silva desenvolveu um programa bem verde e amarelo, e de excelente qualidade.

Com o prestígio e patrocínio da Eletrônica Selenium S.A., o programa está baseado nos parâmetros Thiële-Small (T-S).

Com ele, você pode calcular com precisão praticamente quaisquer tipos de caixas acústicas, como a suspensão acústica, o refletor de graves, a bandpass, caixas cornetadas para graves e médios graves, e outras.

Também é possível calcular comprimentos de dutos para sintonizar caixas, ver curvas de respostas, e assim por diante.

Mas Homero não parou por aí. Para quem possui um gerador de áudio e um multímetro, ele reservou um recurso muito prático e útil, que permite fazer rapidamente medições dos parâmetros T-S. E a partir disso, calcular inúmeros outros parâmetros convencionais.

Se você já projetou uma caixa acústica, certamente vai valorizar essas coisas.

Mas os recursos vão ainda mais longe. Com o programa, você pode calcular filtros, resistores para diversos tipos de atenuadores, ver gráficos de amplitude e fase, e até mesmo saber a corrente elétrica que passa pelas bobinas móveis.

Aproveito para parabenizar o Homero e a Selenium. Que inclusive souberam como mostrar ao público em geral trabalhos já realizados por outros profissionais competentes. Como é o caso do engenheiro Walter Ulmann. Uma parte do programa do Homero incorpora um projeto do Walter, que calcula os modos normais, tangenciais e oblíquos numa sala, e apresenta os resultados graficamente.

É o que nos mostra a figura 6.314.

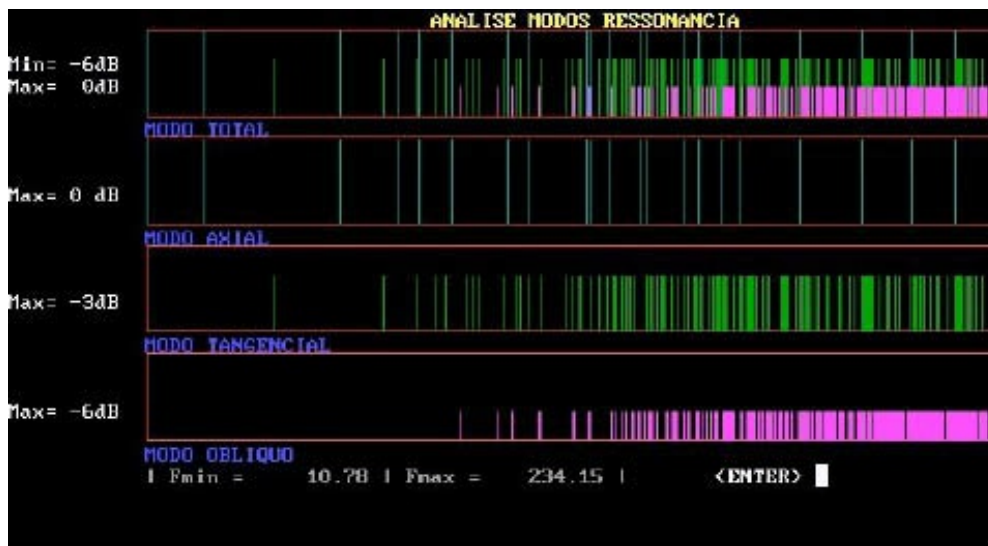


figura 6.314 gráfico mostrando os modos normais, tangenciais, oblíquos numa sala, e todos juntos
cortesia Eletrônica Selenium, Homero Sette Silva e Walter Ulmann
6.12.5 Proprietários Não vamos
entrar nos detalhes desses programas, uma vez que estes são a forma de operar aparelhos de
determinadas marcas.

Exemplos de programas proprietários são o LecNet, a partir do qual é possível trabalhar com a linha de mixers automáticos da Lectrosonics, o WinDR da Allen Heath, que possibilita operar o DR66, e assim por diante.

6.12.6 Outros

Esta categoria reúne os programas que não se encaixam nas anteriores. Vamos trabalhar com dois programas, os quais resumem com eloquência a que ponto se pode chegar com a ajuda da informática.

6.12.6.1 O Stardraw Ao invés de ser um programa como os discutimos até aqui, todos voltados para o dimensionamento acústico e de sistemas de áudio, há uma série de outros, com objetivos diferentes, mas convergentes.

Entre esses está o Stardraw, que começou com o nome ShuttleCad.

Trata-se de um software de utilidade relativa, mas eficaz. Ele nos permite desenhar diagramas de bloco, tanto na forma gráfica quanto na forma pictorial.

Na forma gráfica, podem ser traçados os unifilares dos sinais de áudio, de alimentação CA e de controle. Que podem ser vistos juntos ou separadamente.

Outro recurso do programa permite que sejam feitos planos de face de bastidores, tanto na forma de desenhos simples, quanto de apresentações pictoriais muito bonitas e realistas.

Os desenhos podem ser frontais, traseiros e laterais.

As vistas laterais nos permitem escolher bastidores com as menores profundidades compatíveis com os espaços requeridos, levando à economia certa de hardware e de espaço.

As vistas traseiras podem ser utilizadas para se determinar os traçados de rotas de fios e de cabos. Esse mesmo recurso é capaz de gerar listagens de materiais, por exemplo para uso de equipes de instalação, ou mesmo para apresentação em propostas.

O Stardraw também permite que sejam desenhados painéis em geral. Com vistas frontais e traseiras. Os desenhos podem incluir dimensões de cortes e diâmetros de furos, a partir do que torna-se relativamente fácil confeccionar estas peças.

A serigrafia também pode ser preparada nesta etapa.

A conferência da fiação e da pinagem dos conectores é um dos pontos fortes do programa.

Finalmente, os diagramas de bloco pictoriais podem ser transformados em deslumbrantes apresentações em perspectiva, dando uma ideia clara de como será o visual final do sistema. Numa antecipação de como ficará o arranjo físico após instalado. Inclusive em palco. Como mostra a figura 6.315.

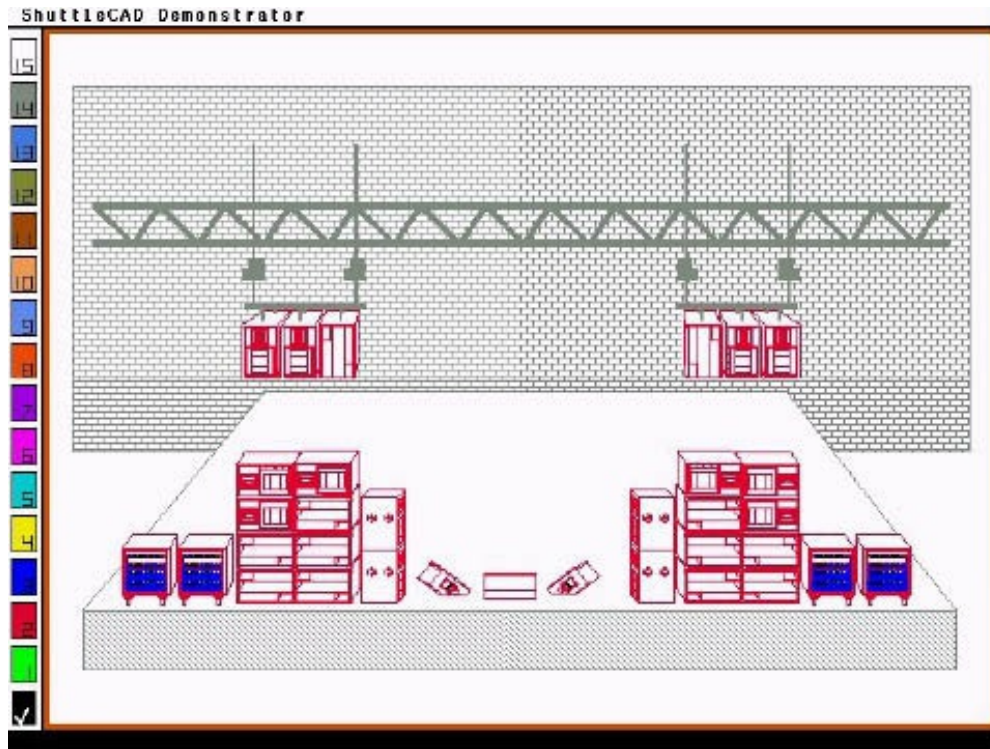


figura 6.315 visual de um sistema, como desenhado num ShuttleCad cortesia ShuttleCad Portanto, este é um programa que não só pode ajudar a tornar uma proposta muito mais atrativa do que o usual, como também é capaz de gerar uma série de documentos utilizados pelas equipes de instalação, em campo. Com recursos de sobra para tornar qualquer edição uma tarefa de minutos.

A biblioteca de símbolos do Stardraw inclui mais de 36 mil figuras, representando os produtos de centenas de fabricantes do mundo todo. As figuras são atualizadas mensalmente e podem ser baixadas sem custo pelos usuários do programa. O mesmo ocorre com os upgrades do Stardraw.

Desenhar com este programa é muito fácil porque ele oferece uma infinidade de recursos, templates e ferramentas que facilitam tudo.

6.12.6.2 O Sound System Design Worksheet - SSDW

Elaborado por Pat Brown, o atual presidente da Synergetic Audio Concepts, em essência este programa é uma planilha EXCEL.

Prático e simples, o programa pode ser usado como uma ferramenta muito completa.

Que nos permite “modelar” em tabelas quaisquer espaços e analisar simulações.

Além disso, o SSDW serve como ferramenta para que profissionais noviciados no áudio profissional se exercitem com uma longa série de campos interessantes, entre os quais destaco os decibels. Isto mesmo. Se você quer entender melhor os decibels e adquirir uma certa desenvoltura com os números associados aos decibels, encontrará no SSWD um amigo de todas as horas e um caminho muito fácil e instrutivo para avançar em sua caminhada. Por sinal, uma forma que assegura que você não se perca com instruções dúbias ou imprecisas. Isto é certo.

Para entender o SSDW basta que façamos uma análise parcial de sua página de abertura, ilustrada na figura 6.316.

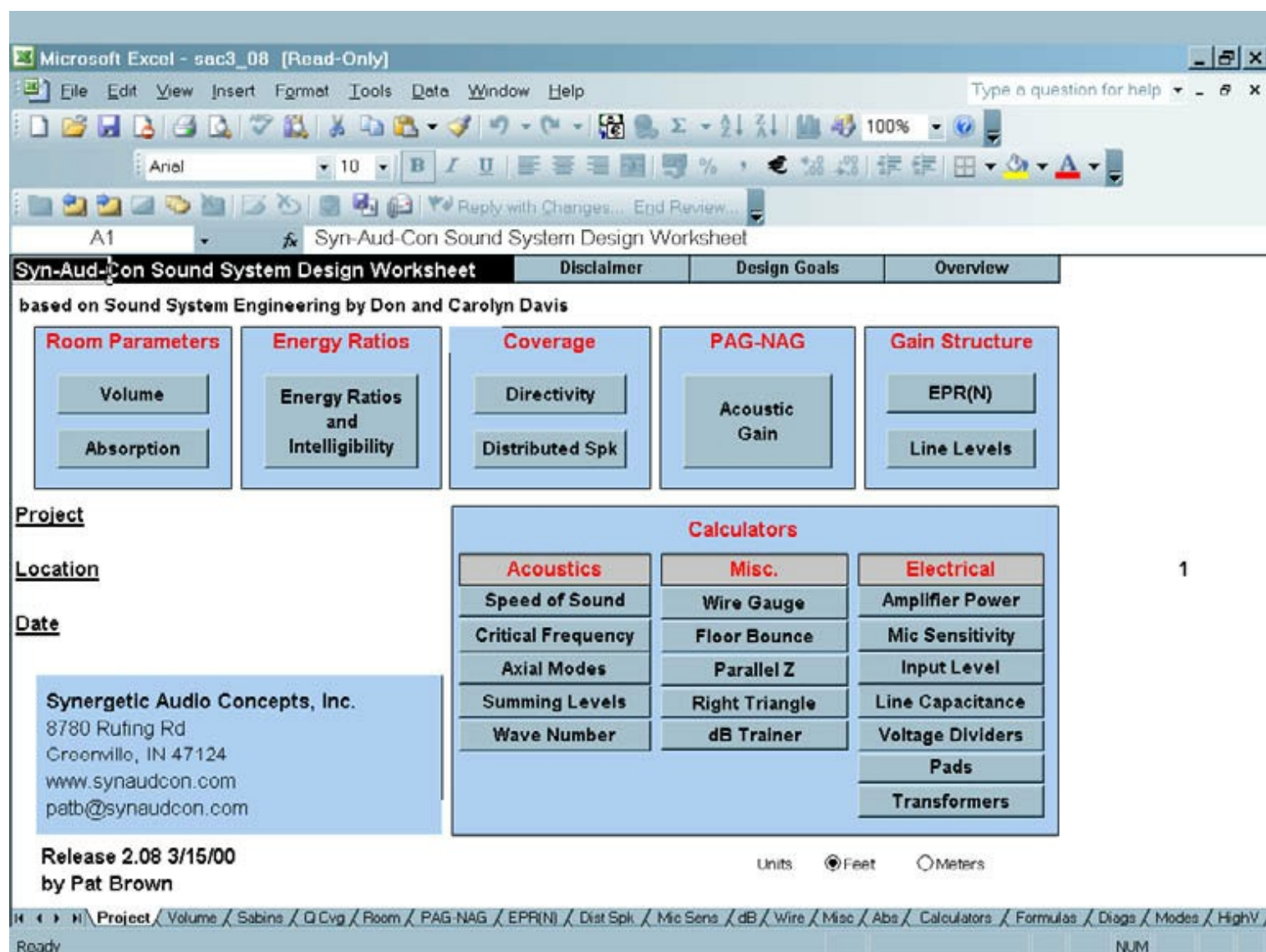


figura 6.316 tela de abertura do SSDW da synergetic Audio Concepts cortesia Syn-Aud-Con A parte superior da tela de trabalho mostra cinco janelas alinhadas horizontalmente, com os títulos Room Parameters, Energy Ratios, Coverage, PAG-NAG e Gain Structure. Cada uma dessas janelas possui um ou dois botões de ação. A primeira janela da esquerda - Room Parameters - possui dois botões: Volume e Absorption.

Clicamos no botão Volume para abrir um “formulário” no qual podemos introduzir os dados geométricos da sala.

A seguir clicamos no botão Absorption para ver os cálculos feitos, que nos informam a

absorção da sala para todas as bandas de oitava no intervalo 125 Hz a 8 kHz.

A janela seguinte tem um só botão, o Energy Ratios and Intelligibility.

Ao clicar nele abrimos uma planilha na qual vamos introduzir dados como a quantidade de falantes, suas relações de diretividade, suas posições físicas, a localização do ouvinte, os dados acústicos calculados na etapa anterior, e outros.

A partir disso, o programa calcula vários parâmetros, a exemplo da D_C (distância crítica), do CLM (Caminho Livre Médio), a relação S/R, os tempos de reverberação, a relação do campo direto para o campo reverberante e vários indicadores de inteligibilidade, entre os quais o ALcons% e o RASTI.

Se as figuras não são aceitáveis, recebemos essa informação com a tarja “poor” e/ou “bad”.

A figura 6.317 ilustra essa planilha Bem, o mesmo princípio aplica-se às outras três janelas.

Abaixo dessas 5 janelas fica uma grande janela de título Calculators.

E dentro desse quadro pode-se ver três janelas: a Acoustics, a Miscellaneous e a Electrical. Cada uma delas têm uma certa quantidade de botões de ação.

Pois bem, cada um desses botões é um aplicativo de grande utilidade para o projetista de áudio. Na parte inferior da tela de trabalho está o espaço de navegação, que possibilita a mudança instantânea de qualquer local do programa para qualquer outro.

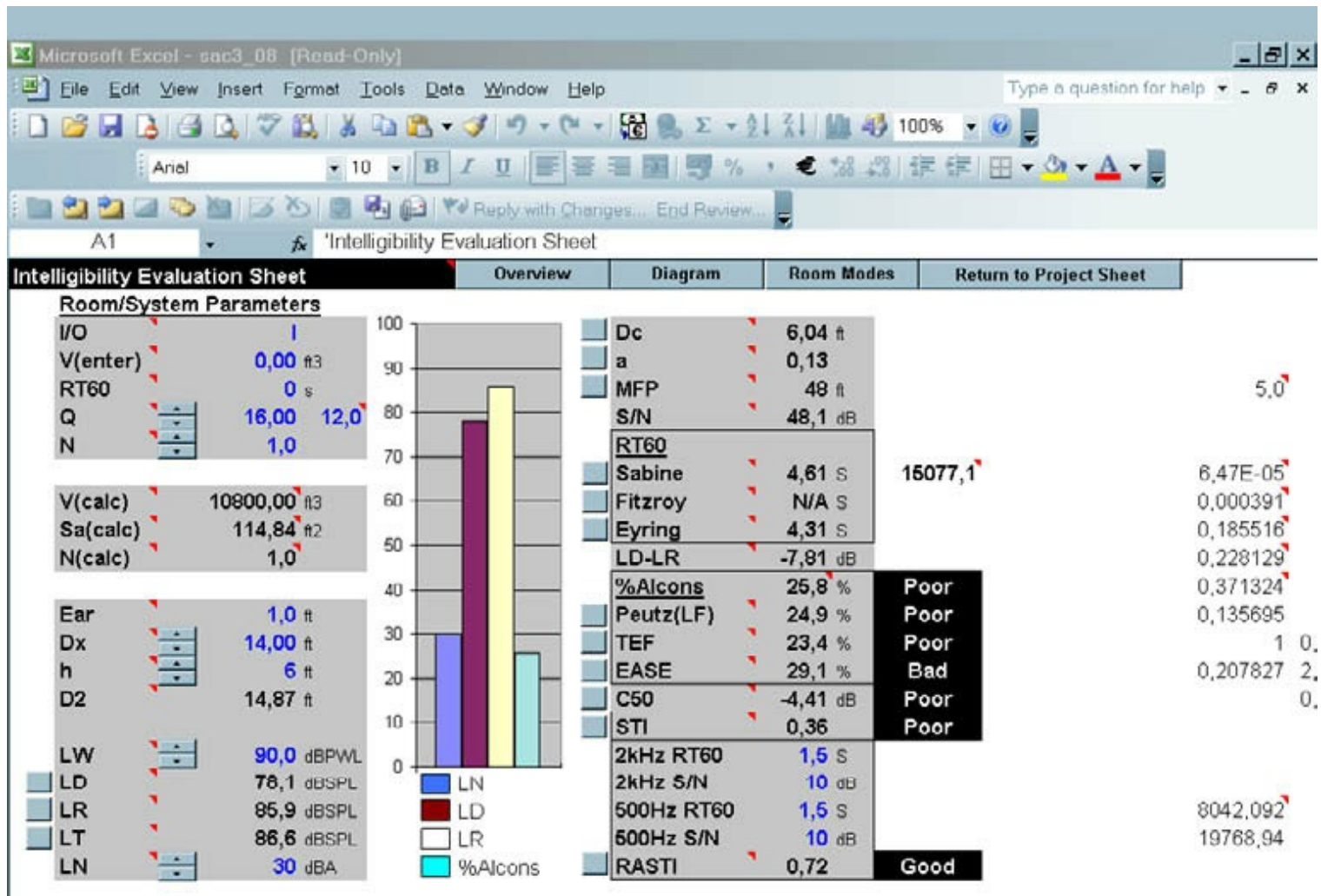


figura 6.317 tela do SSDW com cálculos de inteligibilidade acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para tanto são disponibilizadas as seguintes etiquetas: project, volume, Sabine, Q cvg, Room, PAG-NAG, EPR (N), Dist. Spk., Mic. Sens., dB, Wire, Misc., Abs., Calculators, Formulas, Diags., Modes e High V. Os nomes são auto explicativos. Acima disso está uma pequena área que possibilita escolher a unidade de trabalho, com as opções pés ou metros.

6.12.6.3 O Room Optimizer

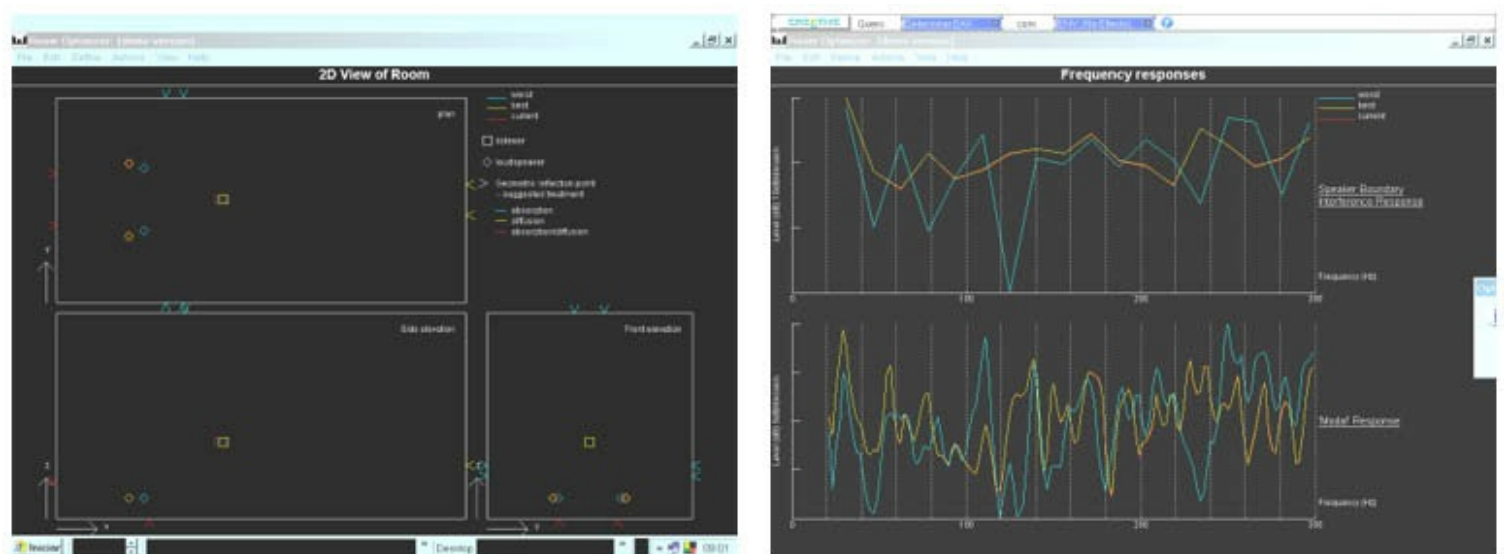


figura 6.318 localizações físicas (à esquerda) e respostas gráficas (à direita) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O Room Optimizer é um pequeno programa desenvolvido pela RPG de Peter D 'Antonio. Esta é uma ferramenta desenvolvida para maximizar o desempenho eletroacústico em salas residenciais, estabelecendo com precisão as localizações relativas das caixas acústicas e do audiófilo.

O processamento do programa está baseado em cálculos de distribuição das pressões modais e do levantamento em tempo real das respostas das múltiplas interferências acústicas. A figura 6.318 dá uma ideia de como o usuário se comunica com o Room Optimizer.

6.12.6.4 DaVinci (de minha autoria) introdução

O DaVinci é uma ferramenta exclusiva para ajudar no tratamento acústico de quaisquer locais. Portanto, deve ser utilizado sozinho para tratamentos acústicos, ou antecedendo o Galileo, discutido adiante, em projetos eletroacústicos.

Imagine uma sala tipo caixa de sapato com largura 4,30 metros, altura 2,75 metros e comprimento de 5,80 metros.

Para simplificar todas as coisas vamos imaginar que o piso é de lajota cerâmica, todas as paredes são de alvenaria fina e que o teto é de concreto.

Nossa intenção é calcular o Tempo de Reverberação da sala e, se for preciso, aplicar as correções.

Como fazer isso?

Permita-me repetir aqui a expressão 3.30:

$$S.\bar{a} = S_1.\bar{a}_1 + S_2.\bar{a}_2 + \dots + S_N.\bar{a}_N \quad (3.30)$$

vimos que

- $\bar{a}_1, \bar{a}_2$, etc., são os coeficientes de absorção acústica de cada tipo de material, e
- S_1, S_2 , etc., as áreas que lhes correspondem

Podemos associar S_1 com a lajota cerâmica, S_2 com a alvenaria fina e S_3 com o concreto. Então, num primeiro cálculo teríamos $S_1 = 24,94 \text{ m}^2$, $S_2 = 55,55 \text{ m}^2$ e $S_3 = 24,94 \text{ m}^2$.

Isto posto, devemos descobrir os coeficientes de absorção acústica de cada um desses materiais para as bandas de oitavas centradas em 125, 250, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz.

Aí resta montar as expressões 3.30 para cada uma dessas bandas de oitavas e fazer as contas.

É fácil mas trabalhoso, concorda?

Bem, na década de 70 eu fazia vários projetos de acústica simultaneamente. O que mais me desafiava era a perda de tempo que essas contas consumiam.

Foi quando resolvi dar um basta a isso tudo. Para contornar a situação desenhei o DaVinci, que é uma ferramenta para simplificar todas essas contas. Mais ainda, para ajudar a estabelecer quais são os Tempos de Reverberação ideais para cada sala e, principalmente, para acelerar o processo de, partindo dos Tempos de Reverberação reais chegar aos valores ideais.

Distinto público, com você o DaVinci!

Ele nasceu como uma planilha manual. Era mais um roteiro de como seguir um caminho racional para não perder tanto tempo.

Minha primeira tentativa de informatizar o DaVinci foi com o Multiplan em 1983 e logo depois tentei com o Lotus 123.

Mas perdia mais tempo ajustando coisas do que ganhava com as contas. Até que lá por volta de 1988 a Microsoft lançou o Excel. Então, finalmente consegui o que queria.

A finalidade daquela planilha manual de cinco décadas e a atual ainda é a mesma. Entretanto, os dados e a forma foram atualizados praticamente ano a ano.

Quando penso no DaVinci de cinquenta anos atrás me lembro que, naquela época, considerava que o controle dos Tempos de Reverberação (RT_{60}) de um local fechado é tarefa que abrange três etapas.

A primeira era determinar quais são os Tempos de Reverberação reais da sala para as frequências de interesse, tipicamente em bandas de oitavas numa progressão ascendente, com frequências centrais de 63 Hz a 8 kHz.

A segunda etapa era determinar quais são os RT_{60} mais apropriados para a sala em questão, considerada a programação predominante do recinto. Esses são os valores considerados ideais.

Finalmente, a terceira etapa era ajustar os RT_{60} reais de modo que esses valores sejam modificados para se aproximar dos valores ideais.

Bem, isso continua precisamente como era. Então, vamos continuar desse ponto.

Muitos projetistas me perguntam como proceder para desenvolver a primeira etapa em casos em que a sala ainda não foi construída. Digo que essa pergunta comporta várias respostas. E acrescento que o que mais gosto de fazer é considerar as dimensões da sala e imaginar que suas superfícies são as de uma típica obra terminada. Por exemplo, piso de concreto, paredes de alvenaria convencional e teto de gesso acartonado.

Claro que se a sala não existe isso é apenas uma abstração para possibilitar a criação de um modelo que é precisamente o ponto de partida.

Nossa sala tem largura 4,30 metros, altura 2,75 metros e comprimento 5,80 metros. Veja a figura 6.319.

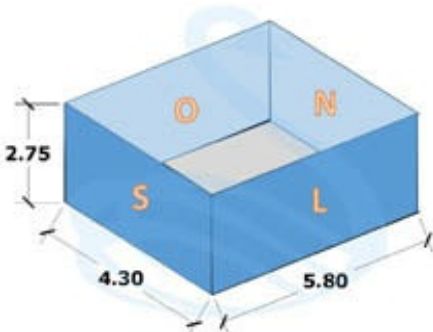


figura 6.319 sala exemplo para exercício com o programa DaVinci acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Chamei as paredes menores de Norte e Sul, cada uma dessas com área $4,30 \times 2,75 = 11,825 \text{ m}^2$.

As paredes maiores são, por via de consequências, a Leste e a Oeste, cada uma com área de $15,95 \text{ m}^2$. Piso e teto têm, cada um, área de $4,30 \times 5,80 = 24,94 \text{ m}^2$. Logo, a área total da sala é $(2 \times 11,825) + (2 \times 15,95) + (2 \times 24,94) = 105,43 \text{ m}^2$.

O volume interno dessa sala pode ser facilmente calculado: $4,30 \times 5,80 \times 2,75 = 68,585 \text{ m}^3$.

Pois é, quem usa o DaVinci não precisa fazer essas contas.

Vejamos então como é a ferramenta DaVinci.

As figuras 6.320 e 6.321 mostram o cabeçalho do programa, respectivamente sem e com o volume da sala.

CLIENTE:				
OBRA				
DATA:	VOLUME INTERNO (m³)	L (m) x A (m) x P (m)		m³

figura 6.320 cabeçalho do DaVinci sem o volume da sala na célula vermelha acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

CLIENTE:				
OBRA				
DATA:	VOLUME INTERNO (m³)	L (m) x A (m) x P (m)	68,585	m³

figura 6.321 cabeçalho do DaVinci com o volume da sala na célula vermelha acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 6.322 mostra uma sequência de instruções, cuja finalidade é orientar o usuário para como proceder desde que abre a ferramenta até que tenha concluído o seu trabalho.

INSTRUÇÕES

1. calcule o volume interno do recinto considerado em m^3 e chame-o de "V" e marque-o na linha 4, coluna K (célula K4)
2. calcule a superfície interna total do recinto (a soma das superfícies do piso, paredes, teto, colunas, etc.) e chame-a de "S"
3. separe a superfície interna total do recinto em partes correspondentes a cada material de acabamento diferente
4. chame essas partes de S_1, S_2, S_3, S_4 , etc.
5. certifique-se que a soma de todas essas partes é igual à "S"
6. confira todos os cálculos de "V" e de "S"
7. procure os materiais de acabamento do recinto considerado na coluna A e preencha em cada célula da coluna C os valores de S_1, S_2, S_3, S_4 , etc., de modo que cada valor colocado corresponda ao material de acabamento respectivo
8. caso você não encontre o material de acabamento desejado na coluna A, escolha material com características físicas próximas do material que falta.
9. ao final dessa etapa confira que o valor da linha 190 da coluna B (célula B170) coincide com o valor "S" e corrija se necessário
10. nesse ponto o DaVinci já terá calculado os tempos de reverberação para as bandas de oitava centradas em 125Hz, 250Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz e 4 kHz e os apresentará na linha 172, colunas C a M. Abaixo da tabela principal o programa Da Vinci também apresentará os tempos de reverberação em forma gráfica
11. abaixo da tabela principal o programa DaVinci também apresentará os tempos de reverberação em forma gráfica
12. esses números e o gráfico indicarão a extensão e as características do problema
13. agora, clique na aba "ideal"
14. você encontrará um ambiente que o ajudará a definir o tempo de reverberação ideal para o recinto considerado
15. estabeleça o tipo de programa mais comum para o espaço projetado
16. na coluna E correspondente ao programa antes definido, marque o volume em m^3 (o mesmo da célula K4)
17. o tempo de reverberação ideal aparecerá na coluna G, na mesma linha que a do volume antes preenchido
18. esse tempo de reverberação ideal vale para todas as bandas de oitava (125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz)
19. caso o recinto considerado vá ser usado para dois ou mais programas diferentes, use aquele que resulta no menor tempo de reverberação, já que é possível introduzir reverberação eletrônica em qualquer programa, mas ainda não é possível reduzi-la
20. memorize o tempo de reverberação ideal, clique na aba **RT60 ANTES** e marque o valor do tempo de reverberação ideal na célula B208
21. compare os valores de tempo de reverberação calculados pelo DaVinci (linha 172) com o valor ideal
22. sua missão agora é fazer com que os tempos de reverberação se aproximem o máximo possível do valor ideal
23. a maneira de fazer isso é substituindo os materiais de acabamento existentes pelos painéis acústicos absorvedores, escolhendo-os em função de seus coeficientes de absorção
24. caso as diferenças entre os tempos de reverberação calculados e o valor ideal sejam maiores nas baixas frequências, deve-se utilizar maior quantidade de painéis mais absorvedores nas baixas frequências
25. quando as maiores diferenças são nas altas frequências, emprega-se mais painéis absorvedores nas altas frequências, e assim por diante
26. todo o processo é de tentativa por aproximação
27. uma das maneiras de começar é substituir uma pequena metragem de material de acabamento e observar os resultados
28. se a mudança não surtir muito efeito, aumente bem a metragem de substituição e avalie o resultado
29. à medida que você vai substituindo os materiais, o DaVinci vai calculando os novos tempos de reverberação e o gráfico vai sendo atualizado em tempo real
30. na maioria das vezes é preciso empregar uma combinação de painéis de modo que o tempo de reverberação se aproxime bem do valor ideal
31. o processo geralmente exige uma certa quantidade de experimentação e paciência, mas ao final trará bons resultados
32. é sempre recomendável que do todo substituído, de 70 a 80% seja de painéis absorvedores e os restantes 30 a 20% de difusores, que além de promoverem a difusão dos sons também são absorvedores
33. quanto à localização dos painéis absorvedores e difusores, o ideal é que eles sejam dispostos da maneira mais aleatória possível pelo recinto
34. o mesmo é aplicável à inclinação horizontal e vertical dos painéis
35. a aba "EXEMPLO" mostra a solução de uma caso bastante simples, mas utilizando o mesmo processo acima descrito
36. a aba "CONCEITOS" apresenta os principais conceitos relacionados com os cálculos desenvolvidos pelo programa DaVinci

As linhas 58 a 69 contêm os painéis absorvedores (PA) proprietários

As linhas 70 a 83 contêm os painéis difusores (QRD, PRD, pirâmides, policilíndricos e demais) proprietários

As linhas 84 a 142 contêm os materiais de acabamento mais comuns encontrados em recintos em geral

As linhas 143 a 169 ficam reservadas para o futuro

Os coeficientes de qualquer painel absorvedor são os mesmos independentemente de serem eles paralelos às paredes, inclinados horizontal ou verticalmente

figura 6.322 instruções de uso do programa DaVinci acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A partir desse ponto a planilha é uma relação dos materiais mais usados em construção civil.

A relação começa com os painéis acústicos que desenhei ao longo das décadas. Eles aí estão para que facilitar o ajuste dos Tempos de Reverberação.

Veja então essa relação nas figuras 6.323 e 6.324.

MATERIAL DE ACABAMENTO	m²	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1 kHz		2 kHz		4 kHz	
		α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$	α	$S\alpha$
PAD63	0	0.09	0	0.02	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0
PAD125	0	0.09	0	0.35	0	0.1	0	0.02	0	0.01	0	0.01	0
PAD250	0	0.38	0	0.96	0	0.36	0	0.11	0	0.02	0	0.01	0
PAD500	0	0.06	0	0.28	0	0.92	0	0.63	0	0.26	0	0.05	0
PAD1K	0	0.01	0	0.07	0	0.44	0	0.94	0	0.3	0	0.12	0
PAD2K	0	0.01	0	0.05	0	0.25	0	0.72	0	0.95	0	0.76	0
PAD4K	0	0.01	0	0.01	0	0.04	0	0.15	0	0.47	0	0.86	0
PAR63	0	0.8	0	0.58	0	0.27	0	0.14	0	0.12	0	0.1	0
PAR125	0	0.98	0	0.88	0	0.52	0	0.21	0	0.16	0	0.14	0
PAR250	0	0.78	0	0.98	0	0.68	0	0.27	0	0.16	0	0.12	0
PAR500	0	0.78	0	0.98	0	0.95	0	0.53	0	0.32	0	0.27	0
PAREA	0	0.67	0	1	0	0.98	0	0.93	0	0.98	0	0.96	0
PDE PIRA-MF	0	0.25	0	0.3	0	0.33	0	0.22	0	0.2	0	0.21	0
PDE PIRA-AF	0	0.25	0	0.3	0	0.33	0	0.22	0	0.2	0	0.21	0
PDE POLI-H	0	0.35	0	0.38	0	0.32	0	0.28	0	0.22	0	0.2	0
PDE POLI-V	0	0.35	0	0.38	0	0.32	0	0.28	0	0.22	0	0.2	0
PDN QRD-BF	0	0.23	0	0.24	0	0.35	0	0.23	0	0.2	0	0.2	0
PDN QRD-MF	0	0.23	0	0.24	0	0.35	0	0.23	0	0.2	0	0.2	0
PDN QRD-AF	0	0.23	0	0.24	0	0.35	0	0.23	0	0.2	0	0.2	0
PDN PRD-BF	0	0.12	0	0.1	0	0.14	0	0.22	0	0.06	0	0.12	0
PDN PRD-MF	0	0.12	0	0.1	0	0.14	0	0.22	0	0.06	0	0.12	0
PDN PRD-AF	0	0.12	0	0.1	0	0.14	0	0.22	0	0.06	0	0.12	0
PDS11-MF	0	0.12	0	0.1	0	0.14	0	0.22	0	0.06	0	0.12	0
PDS11-AF	0	0.11	0	0.11	0	0.15	0	0.22	0	0.05	0	0.12	0
PDS16-MF	0	0.08	0	0.1	0	0.12	0	0.17	0	0.06	0	0.13	0
PDSA6-AF	0	0.07	0	0.12	0	0.11	0	0.15	0	0.09	0	0.14	0
piso de tábuas	0	0.2	0	0.15	0	0.1	0	0.08	0	0.08	0	0.05	0
piso de tábuas duras	0	0.15	0	0.11	0	0.1	0	0.07	0	0.06	0	0.07	0
piso parquet sobre concreto	0	0.04	0	0.04	0	0.07	0	0.06	0	0.06	0	0.07	0
piso parquet sobre asfalto/faj	0	0.02	0	0.15	0	0.1	0	0.08	0	0.05	0	0.05	0
piso cerâmico	0	0.02	0	0.03	0	0.03	0	0.03	0	0.03	0	0.02	0
piso de madeira + carpete fininho	0	0.2	0	0.15	0	0.15	0	0.3	0	0.3	0	0.6	0
piso de carpete comum	0	0.03	0	0.05	0	0.09	0	0.23	0	0.38	0	0.54	0
piso de carpetes/concreto	0	0.04	0	0.04	0	0.15	0	0.3	0	0.5	0	0.6	0
piso de carpete pesado	0	0.02	0	0.06	0	0.14	0	0.37	0	0.6	0	0.65	0
piso de borracha	0	0.02	0	0.03	0	0.03	0	0.03	0	0.03	0	0.02	0
piso de PVC	0	0.04	0	0.04	0	0.08	0	0.12	0	0.13	0	0.12	0
piso de madeira com linóleo	0	0.2	0	0.15	0	0.08	0	0.05	0	0.03	0	0.02	0

figura 6.323 coeficientes de absorção de meus painéis acústicos e de materiais de construção, com células destinadas a contas feitas automaticamente pelo programa DaVinci acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

parede de alvenaria grossa	0	0.03	0	0.03	0	0.04	0	0.05	0	0.04	0	0.03	0
parede de alvenaria lisa	0	0.02	0	0.02	0	0.03	0	0.04	0	0.04	0	0.03	0
parede com embosso fino	0	0.01	0	0.01	0	0.02	0	0.02	0	0.04	0	0.05	0
parede com aço sobre alvenaria	0	0.05	0	0.09	0	0.09	0	0.09	0	0.07	0	0.02	0
parede de concreto grosseiro	0	0.02	0	0.03	0	0.03	0	0.03	0	0.04	0	0.07	0
parede de concreto fino	0	0.01	0	0.01	0	0.02	0	0.02	0	0.02	0	0.05	0
parede de tijolo natural	0	0.02	0	0.03	0	0.03	0	0.04	0	0.05	0	0.07	0
parede de tijolo pintado	0	0.01	0	0.01	0	0.02	0	0.02	0	0.02	0	0.03	0
cortina de algodão leve	0	0.04	0	0.05	0	0.11	0	0.18	0	0.3	0	0.35	0
cortina de algodão médio	0	0.05	0	0.07	0	0.13	0	0.22	0	0.32	0	0.35	0
cortina de algodão pesado	0	0.05	0	0.12	0	0.35	0	0.48	0	0.38	0	0.36	0
cortina de veludo leve 1-1	0	0.03	0	0.04	0	0.11	0	0.17	0	0.24	0	0.35	0
cortina de veludo médio 1/2 área	0	0.07	0	0.31	0	0.49	0	0.75	0	0.7	0	0.65	0
cortina de veludo pesado 1/2 área	0	0.14	0	0.35	0	0.55	0	0.72	0	0.7	0	0.65	0
vidro comum de janela	0	0.35	0	0.25	0	0.18	0	0.12	0	0.07	0	0.09	0
vidro de 6mm	0	0.18	0	0.06	0	0.04	0	0.03	0	0.02	0	0.02	0
janela c/ vidro simples	0	0.33	0	0.25	0	0.1	0	0.07	0	0.06	0	0.04	0
janela c/ vidro duplo	0	0.25	0	0.1	0	0.07	0	0.06	0	0.04	0	0.02	0
porta de madeira com vãos	0	0.15	0	0.1	0	0.06	0	0.08	0	0.1	0	0.05	0
porta de madeira maciça	0	0.15	0	0.11	0	0.1	0	0.07	0	0.06	0	0.07	0
painel madeira 6mm/5cm	0	0.2	0	0.3	0	0.12	0	0.07	0	0.04	0	0.04	0
painel madeira 6mm/8cm	0	0.6	0	0.3	0	0.1	0	0.09	0	0.09	0	0.09	0
painel madeira 13mm/10cm	0	0.3	0	0.25	0	0.2	0	0.17	0	0.15	0	0.1	0
painel madeira 16mm/4cm	0	0.2	0	0.12	0	0.1	0	0.1	0	0.08	0	0.07	0
painel madeira 18mm/4cm	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.08	0	0.08	0	0.07	0
painel madeira 20mm colado	0	0.05	0	0.01	0	0.05	0	0.01	0	0.02	0	0.01	0
gesso 9,5mm/5cm	0	0.32	0	0.07	0	0.05	0	0.05	0	0.02	0	0.02	0
gesso 12,5mm/3cm	0	0.3	0	0.2	0	0.05	0	0.02	0	0.02	0	0.02	0
gesso 19mm/5cm	0	0.05	0	0.05	0	0.05	0	0.03	0	0.02	0	0.02	0
forro de concreto	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.02	0	0.02	0
forro de gesso 12mm suspenso	0	0.15	0	0.1	0	0.05	0	0.04	0	0.07	0	0.09	0
forro acústico Hunter clássico	0	0.6	0	0.83	0	0.7	0	0.82	0	0.91	0	0.95	0
forro de estuque	0	0.03	0	0.04	0	0.04	0	0.05	0	0.06	0	0.06	0
mármore	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0.02	0	0.02	0
banco de madeira	0	0.12	0	0.16	0	0.19	0	0.18	0	0.17	0	0.16	0
cadeira madeira/metal desocupada	0	0.15	0	0.19	0	0.22	0	0.39	0	0.38	0	0.3	0
poltronas semi estofadas	0	0.12	0	0.17	0	0.19	0	0.21	0	0.24	0	0.26	0
poltronas estofadas	0	0.28	0	0.38	0	0.33	0	0.28	0	0.26	0	0.19	0
pessoas	0	0.18	0	0.3	0	0.4	0	0.4	0	0.42	0	0.36	0
urdimento superior do palco	0	0.38	0	0.48	0	0.7	0	0.76	0	0.82	0	0.9	0
cortinas de palco	0	0.07	0	0.31	0	0.49	0	0.75	0	0.7	0	0.65	0
ciclorama	0	0.05	0	0.07	0	0.13	0	0.22	0	0.32	0	0.35	0
pernas laterais de palco	0	0.05	0	0.12	0	0.35	0	0.48	0	0.38	0	0.36	0
sonex 2"	0	0.08	0	0.25	0	0.61	0	0.92	0	0.95	0	0.92	0
spray acústico 1" s/ concreto	0	0.08	0	0.29	0	0.75	0	0.98	0	0.93	0	0.76	0
lã de vidro/rocha 1"	0	0.15	0	0.35	0	0.7	0	0.85	0	0.9	0	0.9	0
lã de vidro/rocha 2"	0	0.35	0	0.7	0	0.9	0	0.9	0	0.95	0	0.9	0

figura 6.324 continuação dos coeficientes de absorção de materiais de construção, também aqui com células destinadas a contas feitas automaticamente pelo programa DaVinci acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vejamos rapidamente o conteúdo dessas duas figuras. A primeira coluna da esquerda relaciona os materiais. A coluna à direita desta, na cor roxo bem clarinho, é destinada à área de cada material na sala. À direita da coluna das áreas estão doze colunas. Melhor seria dizer seis pares de colunas. Cada par contém um coeficiente de absorção e um espaço que a ferramenta vai inserir, calculando a multiplicação da área pelo coeficiente.

Como tudo é feito automaticamente, assim que se preenche a coluna da área o DaVinci calcula todas as multiplicações de área pelos coeficientes. Que são os termos da direita da expressão 3.30.

Uma vez que o usuário tenha preenchido as áreas de todos os materiais, o programa já apresentará os cálculos de Tempos de Reverberação.

Olhe só.

Quando eu introduzo as seguintes áreas: na linha piso cerâmico 24.94

na linha parede de alvenaria lisa 55.55

na linha forro de concreto 24.94

O programa me responde com as seguintes informações tabulares e gráficas:

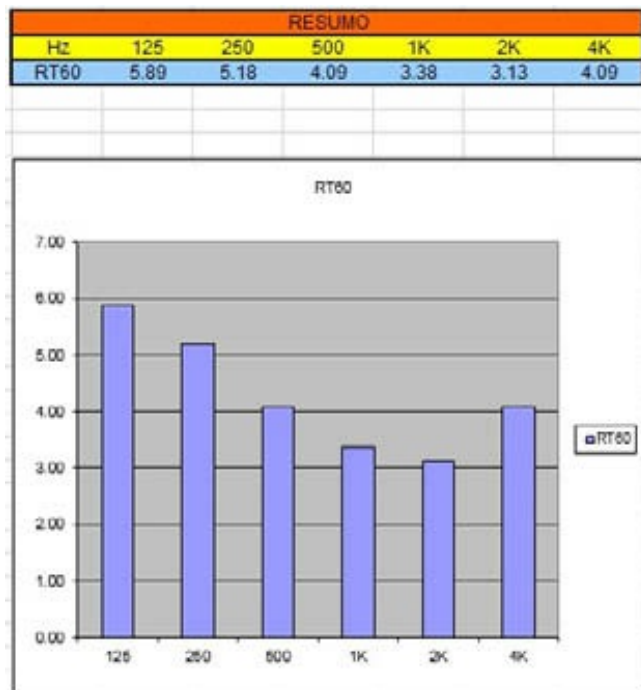


figura 6.325 resumo dos cálculos de RT_{60} feitos automaticamente pelo programa DaVinci e correspondente representação gráfica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nesse ponto o usuário quer saber quais são os Tempos de Reverberação ideais para essa sala.

Para fazer isso vamos acionar a abinha com a inscrição “IDEAL” e, então, já estamos aptos a escolher o programa predominante que se estima para o espaço considerado. Por exemplo, no caso em questão escolhi “pop e o jazz”.

Então, na linha “POP E JAZZ” do programa vamos digitar o volume físico da sala (68,585 m³).

Em resposta, o programa informará que o RT_{60} ideal para esse recinto e para os programas escolhidos é de aproximadamente 0,41 segundos.

O que vale para todas as oitavas consideradas.

Veja isso na figura 6.326.

Devo informar que nem todos os projetistas entendem que os Tempos de Reverberação devem ser iguais para todas as frequências. Tanto é assim que o som produzido num ambiente com Tempos de Reverberação em baixas frequências ligeiramente acima daqueles a partir de 1 kHz são chamados de sons quentes (warm sound).

1. escolha o programa no lado esquerdo 2. escreva o volume em m³ na correspondente linha da coluna E 3. veja o resultado na mesma linha da coluna G 4. arredonde o valor de RT60 para 2 casas após a virgula			
	V (m³)		RT60 ideal
LOCUÇÕES E VOZ			#NUM!
ESTÚDIOS DE GRAVAÇÃO			#NUM!
TEATRO VERDADEIRO			#NUM!
TEATROS E CINEMAS			#NUM!
POP E JAZZ	68.585		0.41112
MÚSICA DE CÂMERA			#NUM!
AUDITÓRIOS CORPORATIVOS			#NUM!
IGREJA PROTESTANTE			#NUM!
SINAGOGA			#NUM!
MÚSICA DE IGREJA			#NUM!

figura 6.326 planilha para determinação dos RT_{60} ideais em função do tamanho da sala e do programa musical predominante previsto para a mesa acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ora, nesse ponto temos os Tempos de Reverberação reais da sala e o que é desejado. Podemos reunir essas duas coisas numa só figura. Que é a figura 6.327.

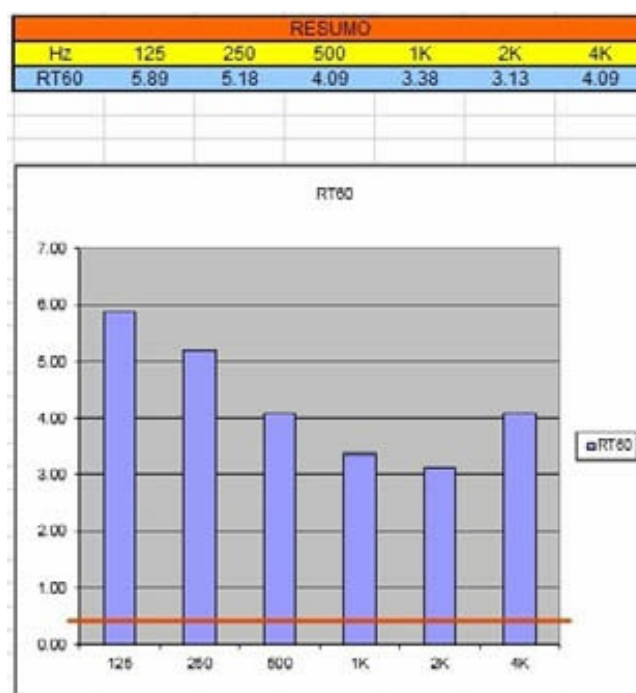


figura 6.327 gráfico com os RT_{60} reais (retângulos roxos) e com os RT_{60} ideais (linha vermelha) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja a linha vermelha na figura. O que temos que fazer é absorver tudo o que está nas colunas roxas acima dessa linha. Olhando para a figura de relance já podemos ter uma ideia que o que mais temos que absorver é a energia na banda centrada em 125 Hz.

Depois a que está em 250 Hz. Depois em 500 Hz e com ela a banda de 4 kHz. A seguir, vem a banda de 1 kHz e finalmente a de 2 kHz.

Gosto de fazer o ajuste pouco a pouco, analisando cada passo dado. Dessa forma, se sentir que o passo não segue na direção desejada posso mudar o curso imediatamente. Ou mesmo voltar atrás e recomeçar de qualquer ponto que queira. OK?

O segredo de tudo é saber bem o que escolher a cada passo dado. Por exemplo, veja na

figura 9 que podemos optar por um painel absorsor que atue mais na banda de oitava centra em 125 Hz, mas que tenha uma atuação apreciável na banda centrada em 250 Hz e que ainda atue na banda centrada em 500 Hz, *etc.*

Bem, se você estudar por uns dez ou quinze minutinhos os painéis acústicos dos dois primeiros grupos da figura 5, sendo o primeiro grupo de cor turquesa e o segundo de cor azul, identificará imediatamente que o painel que procuramos é o PAR125, que é sintonizado em 125 Hz. Escolhi arbitrariamente uma área de 10 m² para esse painel.

Vou caminhar identificando cada passo dado para que você possa acompanhar mais facilmente o desenvolvimento das coisas.

1º passo

Preenchi a célula de área ao lado do painel PAR125 com 10 (m²) e o programa recalculou tudo para mostra o que está na figura 6.328.

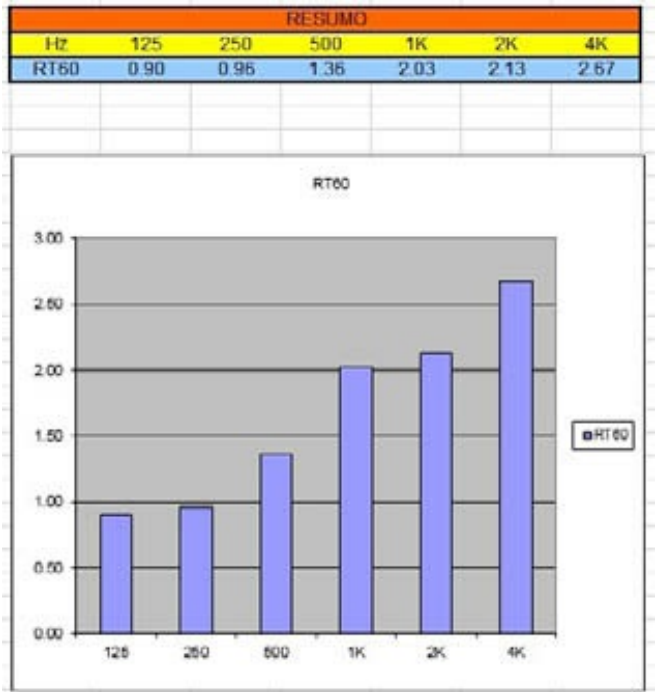


figura 6.328 recálculo do programa DaVinci para a inserção de 10m² de painéis absorsores PAR125 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Por favor, compare os números da figura 6.328 com os da figura 6.327.

Observe que na banda de oitava centrada em 125 Hz o Tempo de Reverberação despencou de cerca de 6 segundos para menos do que 1 segundo.

Na banda oposta, isto é, de 4 kHz, o Tempo de Reverberação caiu de cerca de 4 segundos para pouco mais que 2,5 segundos.

Essas considerações mostram que estamos caminhando na direção certa.

2º passo

Agora meu interesse está voltado para um painel que tenha coeficientes de absorção aumentando com a frequência.

Algo como o painel PAREA.

Então, vou tentar usar 10m² desse painel para ver o que acontece. Importante notar neste ponto exato que se os 10m² forem pouco ou muito, podemos corrigir isso no programa de maneira instantânea. Os cálculos também nos são apresentados em tempo real.

O que significa que temos à nossa disposição uma espécie de dispositivo “servo”, que nos guia durante todo o processo.

Assim que preencho a célula de área ao lado do PAREA com 10, o programa recalcula e me mostra o que está na figura 6.629.

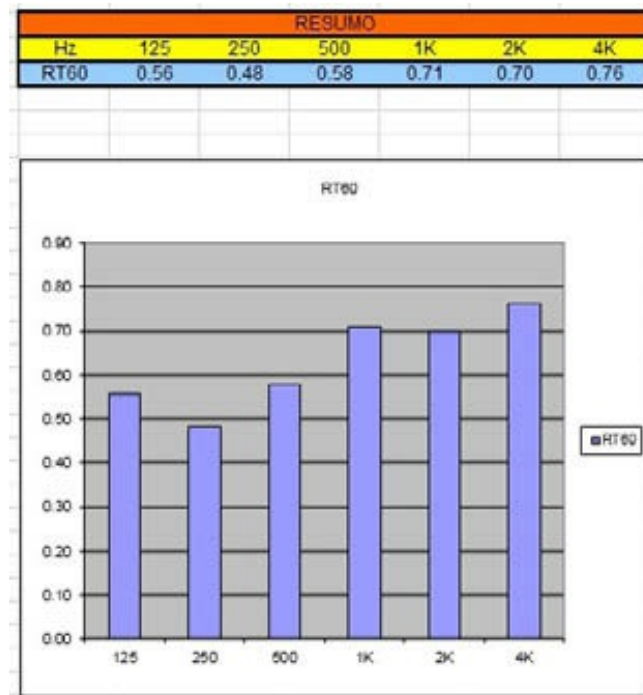


figura 6.329 recálculo do programa DaVinci para a inserção de mais 10m², agora de painéis absorsores PAREA acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja que estamos nos aproximando cada vez mais do que é considerado ideal. Certo?

3º passo

Ao olhar para a figura 6.329 noto que agora o que mais precisamos absorver é energia na banda de oitavas centrada em 4 kHz. O único painel desenhado para absorver nessa região do espectro é o PAD4K. Meio que por intuição vou pensar novamente em 10m². Preencho a célula de área ao lado da linha com PAD4K com 10 e o DaVinci recalcula e mostra o que está na figura 6.330.

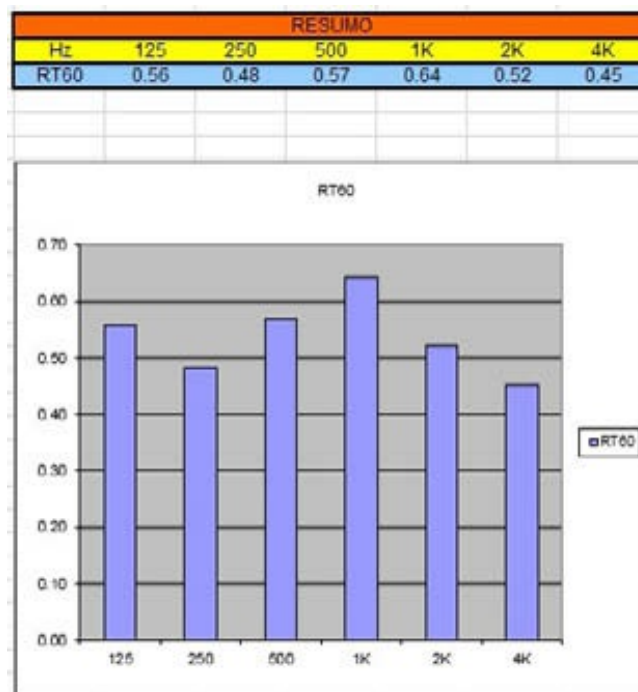


figura 6.330 recálculo do programa DaVinci para a inserção de mais 10m², agora de painéis PAD4K acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja que mais uma vez estamos na rota certa. O que nos autoriza a progredir.

4º passo

Agora, o que temos que fazer é absorver na oitava centrada em 1 kHz. Escolho o painel PAD1K e arbitro 6 m² de área para este passo.

Porque não mais 10 m²? Porque em comparação com as figuras anteriores, a quantidade de energia a absorver agora já não é tanta. Confere?

Então, preencho a célula ao lado da célula do PAD1K e o programa recalcula e informa o que está na figura 6.331.

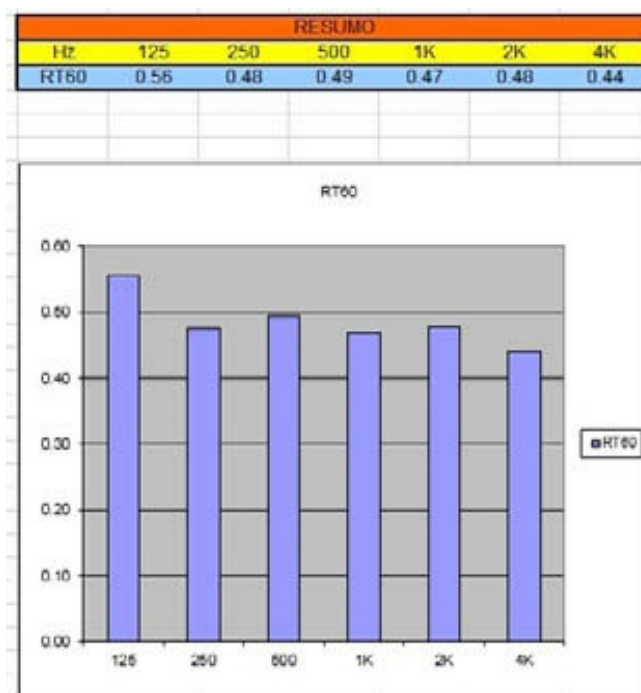


figura 6.331 recálculo do programa DaVinci para a inserção de mais 6m², de painéis absorsores PAD1K acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja que a curva já está bem próxima do que prescreve a linha vermelha da figura 6.327.

5º passo

Vou dar uma retocada na banda centrada em 125 Hz, mas agora com o PAD125 e um total de 5 m².

O DaVinci recalcula e retorna com o que está na figura 6.332.

Você olha para a figura 6.332 e pensa: acho que agora demos um tiro n'água.

Chamo sua atenção para um detalhezinho. Até aqui, os gráficos tinham todos o eixo vertical começando em 0 (zero) e terminando no que era preciso para indicar a coluna com Tempo de Reverberação mais elevado.

Mas agora, a figura 6.332 já começa com 0,40 segundos.

E termina com 0,49 segundos.

Portanto, é um tremendo dum zoom aplicado ao gráfico.

Isso significa que, agora, as diferenças entre as colunas são bem menores do que a ideia gráfica transmite.

Especialmente em comparação com as figuras anteriores.

Por favor, analise esse aspecto com bastante calma e vagar de modo que possa ter uma noção numérica do significado disso.

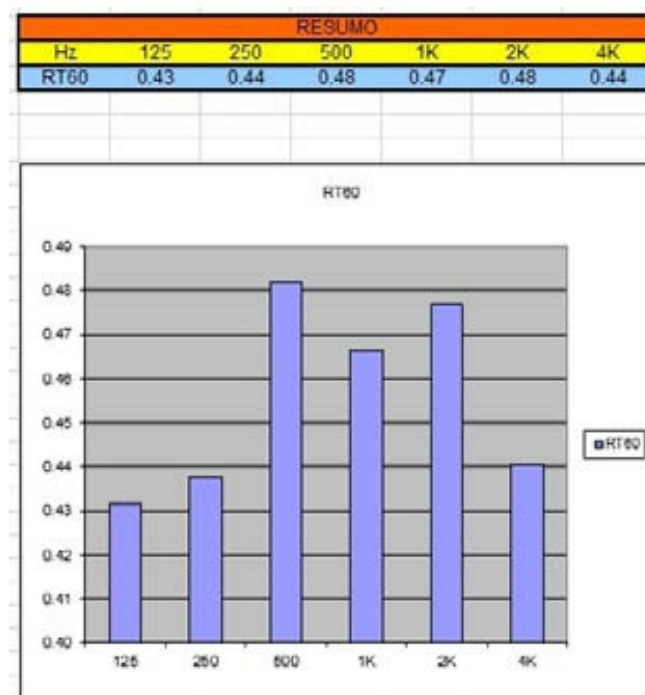


figura 6.332 recálculo do programa DaVinci para a inserção de mais 5m², de painéis absorsores PAD125

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mas posso observar que agora posso absorver um pouquinho de energia nas bandas centradas em 500 Hz e em 2 kHz. Vou acrescentar 2 m² do painel PAD500 e 2 m² do painel PAD2K. O DaVinci recalcula e mostra o que está na figura 6.333.

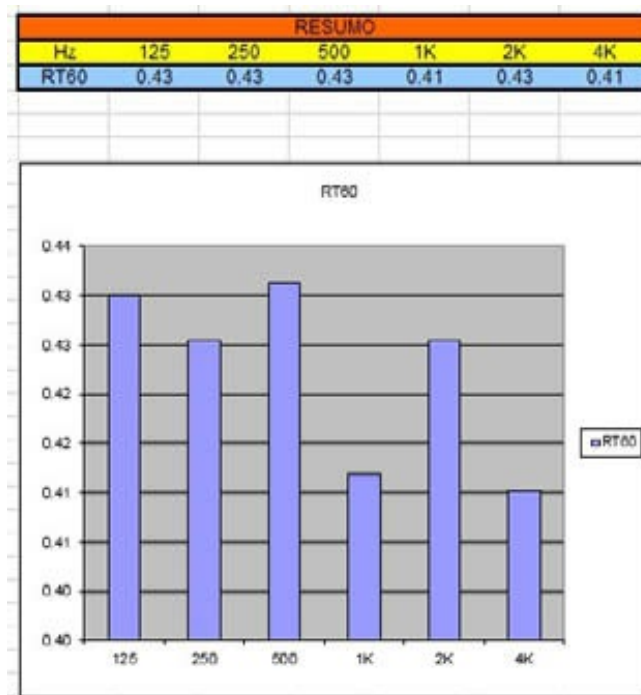


**figura 6.333 recálculo do programa DaVinci para a inserção de mais 2m², agora de painéis absorsores PAD500 e mais 2 m² de painéis PAD2K
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 6º passo**

Para concluir devo retirar da alvenaria os 45 m² de painéis que, em princípio, ficarão sobrepostos nas paredes. Então, na célula onde estavam os 55,55 m² de alvenaria, vou substituir o valor por 10,55. E o da DaVinci responde com o que mostra a figura 6.334.

Considero esses Tempos de Reverberação como os finais para efeito de cálculos.

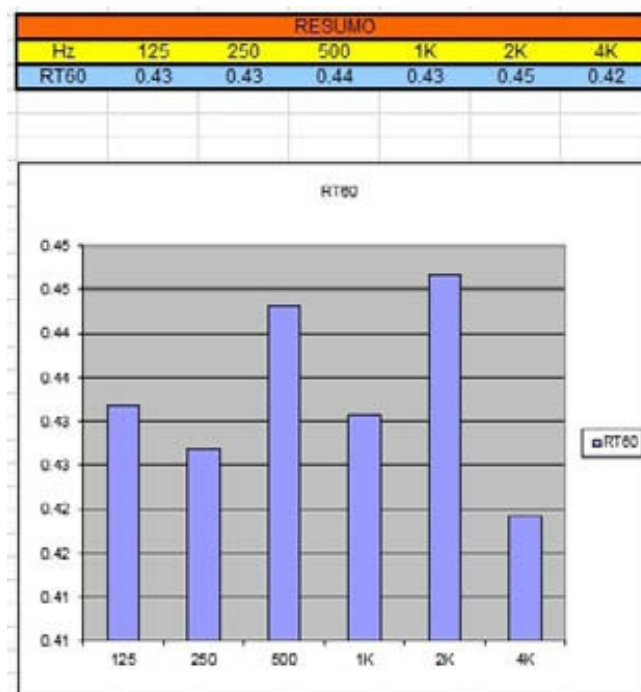


figura 6.334 recálculo do programa DaVinci para a supressão de 45m² de alvenaria, área essa que será ocupada pelos painéis acústicos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para que você possa ter uma boa ideia de conjunto resolvi fazer o desenho da figura 6.335. Lá estão os Tempos de Reverberação iniciais calculados, representados pela curva preta, os valores ideais com a reta azul e o que conseguimos obter com o tratamento acústico utilizando os painéis absorsores das famílias PAR e PAD. Os tempos obtidos são indicador com pequenos círculos verdes. O que fiz para não deixar que as curvas ficassem superpostas.

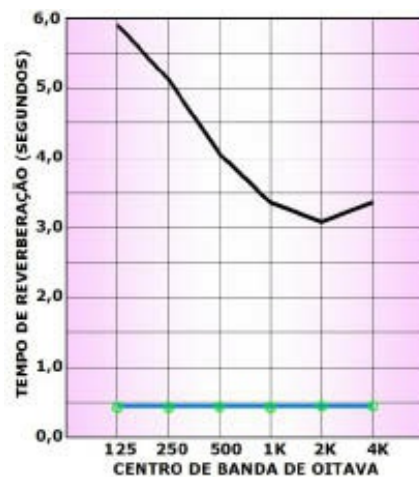


figura 6.335 RT₆₀ reais (curva preta), com os RT₆₀ ideais (curva azul) e valores a obter com o tratamento acústico (círculos verdes) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A curva preta acima na figura 6.335 mostra os Tempos de Reverberação que calculamos para piso cerâmico, teto de concreto e paredes de alvenaria.

A reta azul mostra os tempos de reverberação ideais para esta sala, que foram transformados em objetivos de projeto.

Obtivemos uma curva teórica tão próxima da ideal que se fizesse uma curva inteira elas praticamente ficariam superpostas, dificultando a visibilidade de ambas.

Por isso mesmo, ao invés de traçar uma curva para os Tempos de Reverberação teóricos obtidos, preferi marcar os valores no gráfico com os pequenos círculos verdes.

Observe que apesar de parecer pela figura 6.332 que esses valores estão muito afastados uns dos outros, a figura 6.335 mostra claramente exatamente o oposto. Mais ainda, mostra também de forma clara e insofismável que o projeto foi muito bem sucedido.

Neste ponto posso lhes afirmar. Se a execução do projeto for feita com supervisão para evitar enganos, erros, desvios do que foi projetado e outras mazelas que podem ocorrer facilmente, os resultados finais medidos depois do projeto executado serão muito fiéis aos projetados.

Usando o DaVinci uma meia dúzia de vezes o técnico já começa a trabalhar com desenvoltura com essa ferramenta.

6.12.6.5 Galileu (de minha autoria) introdução

O galileu é um software que desenvolvi em 2006 quando elaborei o projeto de acústica, de sistemas de áudio e de vídeo e outros para os XV Jogos Panamericanos no Rio de Janeiro.

Isto porque no Edital Técnico solicitei que as empresas que iriam concorrer na licitação para alugar sistemas apresentassem com suas propostas um estudo técnico feito com o EASE, a fim de assegurar que os resultados dos sistemas de áudio fossem realmente obtidos. Entretanto, o CORIO entendeu que isso era uma exigência um tanto ou quanto extravagante da minha parte e pediu que eu desenvolvesse um software mais simples de ser utilizado.

Disso resultou o Galileu.

O que esse software faz, em essência, é racionalizar muito as contas que devem ser feitas em qualquer roteiro de projeto eletroacústico, tal como fizemos no tópico 6.4.5, Roteiro de Dimensionamento.

O Galileu é um programa desenvolvido em 6 etapas sequenciais.

etapa 1 – acústica Uma vez que os roteiros de projeto iniciam com informações da acústica do local em questão, mais precisamente, com o Tempo de Reverberação do espaço considerado, o Galileu precisa levar em conta esse aspecto. Porém, ele o faz de forma muito simplificada. Pois calcula o Tempo de Reverberação apenas para a banda de oitavas centrada em 1 kHz.

O que o usuário precisa fazer, de seu lado, é informar quais são as áreas referentes aos materiais de acabamento utilizados, preenchendo os espaços em branco com essas áreas.

O Galileu relaciona um total de 56 materiais, os quais foram escolhidos entre os mais usados nas construções brasileiras.

A seguir o projetista deve informar o volume físico da sala em metros cúbicos. Como resposta, o Galileu informa imediatamente o Tempo de Reverberação, naturalmente calculado para a banda de oitavas centrada em 1 kHz.

O que encerra a etapa 1.

Como quero mostrar as figuras que resumem os cálculos, preciso lançar mão de uma sala hipotética para desenvolver o raciocínio. Seja então uma sala retangular com largura de 7,5 metros e comprimento 12,0 metros. A altura é 4,7 metros.

Como precisamos atribuir áreas aos materiais de acabamento, vamos imaginar que as paredes menores sejam N (norte) e S (sul). As maiores são E (Leste) e W (oeste). O piso é P e o forro é F.

Os materiais de acabamento são: N apenas alvenaria, S apenas drywall de 12 mm, E apenas alvenaria, W 30,0 m² de alvenaria e 26,4 m² de cortina de veludo, P é carpete de 10mm e F é forro de madeira. O volume dessa sala é 423 m³.

Veja agora a figura 6.336. Ela mostra que as áreas específicas foram atribuídas aos correspondentes materiais de acabamento, nas metragens indicadas para esses mesmos materiais na coluna de cor amarela.

O programa calcula e informa a quantidade S.ã, que no caso é 54,83.

GALILEU 2006 V.055 BY CYSNE

Planilha de dimensionamento eletroacústico

No tópico 1. Cálculo do Tempo de Reverberação, devem ser preenchidos todos os retângulos amarelos correspondentes aos materiais de acabamento interno existentes no espaço em questão.

O preenchimento deve ser feito com as áreas dos materiais expressas em metros quadrados (m²) de sorte que nenhuma área e nenhum material seja desconsiderado. A seguir, deve ser preenchido o retângulo amarelo correspondente ao volume interno. O volume deve ser expresso em metros cúbicos (m³). Isso feito, o cálculo do tempo de reverberação será feito automaticamente.

1.Cálculo do RT60

Material	S (m²)	α @ 1 kHz	S α
abertura		0.50	0.00
alvenaria acamento fino		0.04	0.00
alvenaria acamento grosso	121.65	0.05	6.08
areia		0.40	0.00
asfalto		0.03	0.00
bloco celular autoclavado espessura 100mm		0.25	0.00
bloco de concreto pintado		0.07	0.00
bloco de concreto sem pintura		0.29	0.00
carpete pelo de 10mm	90.00	0.40	36.00
carpete pelo de 3mm		0.20	0.00
carpete pelo de 6mm		0.30	0.00
chapa de aço		0.07	0.00
chapa de gesso espessura 19mm fixada em batente metálico		0.05	0.00
chapa de gesso suspensa com colchão de ar de 0.30m		0.08	0.00
chapa metálica pesada		0.10	0.00
compensado de madeira espessura 10mm		0.09	0.00
compensado de madeira espessura 6mm		0.04	0.00
concreto		0.01	0.00
cortiça sobre concreto		0.03	0.00
cortina de algodão 385g/m², dobrado em 1/2 área		0.81	0.00
cortina de algodão 385g/m², dobrado em 7/8 área		0.27	0.00
cortina de algodão 400g/m², dobrado em 3/4 área		0.57	0.00
cortina de algodão 400g/m², dobrado em 7/8 área		0.27	0.00
cortina de veludo 275g/m² pendurada	26.40	0.17	4.49
cortina de veludo 385g/m² dobrada em meia área		0.75	0.00
drywall espessura 12mm	35.25	0.03	1.06
fibra mineral espessura 12mm jateada		0.70	0.00
fibra mineral espessura 25mm jateada		0.90	0.00
forro aberto		1.00	0.00
forro de borracha		0.05	0.00
forro de concreto		0.02	0.00
forro de madeira	90.00	0.08	7.20
forro metálico		0.10	0.00
lambri de madeira		0.08	0.00
lâmina d'água		0.01	0.00
Lona		0.35	0.00
parede de concreto		0.02	0.00
piso de cerâmica		0.02	0.00
piso de concreto		0.02	0.00
piso de grama		0.69	0.00
piso de linóleo		0.03	0.00
piso de madeira		0.07	0.00
piso de parquet		0.06	0.00
piso de saibro		0.75	0.00
plátéia		0.35	0.00
porta de madeira		0.04	0.00
sonex 2"		0.92	0.00
sonex 3"		1.03	0.00
sonex 4"		1.01	0.00
Tartan		0.30	0.00
Telha sanduiche		0.10	0.00
tijolo comum		0.04	0.00
veneziana metálica		0.16	0.00
vidro laminado		0.03	0.00
vidro comum de janela		0.12	0.00
vidro pesado		0.03	0.00
$\Sigma S\alpha$			54.83
volume interno	V (m³)	423.00	
tempo de reverberação	RT60 @ 1 kHz (s)	1.09	

figura 6.336 conferência dos cálculos de RT₆₀

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O projetista entra com o volume de 423 m³ na linha

correspondente.

Isto feito, o Galileu informa de pronto que o RT_{60} é 1,09 segundo.

Para quem utilizou o DaVinci anteriormente é possível par uma paradinha neste ponto exato para comparar as figuras de RT_{60} .

Se os valores conferirem – não é necessário que eles sejam exatamente iguais, mas apenas próximos – podemos prosseguir.

Do contrário somos obrigados a procurar onde está o engano que, certamente, foi introduzido em algum momento.

Essa maneira de calcular não é uma duplicação de tarefas, mas um ponto de verificação de que estamos corretos com a acústica. Porque, do contrário, os enganos se propagarão para o dimensionamento do sistema de áudio.

Resolvida essa questão de metodologia, podemos dizer que atingimos o final da etapa 1 e estamos prontos para prosseguir.

Entretanto, quero chamar sua atenção para o fato de que nossa sala exemplo não tem qualquer tratamento acústico. Ao contrário, procurei usar materiais bem refletentes como alvenaria e outros. Então, vamos prosseguir para a etapa 2.

etapa 2 – cobertura acústica

2.Definição de parâmetros de cobertura acústica				
maior distância entre qualquer cluster e qualquer espectador	D_2 (m)	9.0		
quantidade de clusters	N	1.00		
relação de diretividade mínima do cluster para ALCONS%=15%	$Q_{min} @ ALCONS\% = 15\%$			
ângulo de cobertura horizontal (graus)	$\angle CH$	60.00		
ângulo de cobertura vertical (graus)	$\angle CV$	30.00		
relação de diretividade geométrica do cluster	QG	24.21		
D_2 máximo permitido com o QG	$D_2 \text{ máx}$	25.48		

figura 6.337 preenchimento de dados de cobertura acústica do recinto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Por favor, acompanhe o texto de olho na figura 6.337.

Na sequência o usuário deve informar a distância D_2 , que é a maior distância entre qualquer caixa acústica e qualquer espectador) e quantidade de caixas acústicas ou de clusters.

Nesse ponto o programa informa qual deve ser o Q (Relação de Diretividade) mínimo da caixa acústica ou cluster para que a inteligibilidade seja condicionada por um ALCONS% igual ou inferior a 15%, caso os valores que o projetista tenha informado não se enquadrem na faixa admitida.

Se estiver tudo correto o projetista vai informar os ângulos de cobertura horizontal e vertical.

Como resposta o Galileu calcula e mostra o Q (Relação de Diretividade) real da caixa acústica ou cluster para a banda de oitavas centrada em 1 kHz e, ainda, informa qual a máxima distância D2 que ainda permite obter inteligibilidade correspondente a ALCONS% de 15% ou inferior. No caso, essa distância é 25,48 metros.

A última linha da planilha da figura 6.337.

Está terminada a etapa 2 e podemos prosseguir.

etapa 3 – definição de outros parâmetros Por favor, oriente-se pela figura 6.338.

3. Definição de outros parâmetros				
distância crítica	D_c	5.14		
nível de ruído ambiente	NRA (dBA)			
relação sinal / ruído mínima	S/R min @ ALCONS = 15%			
distância acústica equivalente (adotar 1.00 m)	EAD (m)			
distância entre boca do locutor e microfone (adotar 0.10 m)	D_s (m)			
menor distância entre cluster e microfone	D_1 (m)			
quantidade de microfones simultaneamente abertos	NOM			
elemento acústico da perda com a distância	A	0.07		

figura 6.338 preenchimento de outros parâmetros de projeto (distância crítica, NRA, relação sinal/ruído, EAD, etc.) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Note que o Galileu já calculou e mostrou a D_c , que é distância crítica. No caso, 5,14 metros.

O projetista deve, então, informar alguns parâmetros, que são: NRA, relação S/R, EAD, D_1 e NOM.

Pois bem, quando todos esses dados são preenchidos na planilha da figura 6.338, resulta a planilha da figura 6.339.

3. Definição de outros parâmetros				
distância crítica	D_c	5.14		
nível de ruído ambiente (usar valor estabelecido no anexo XXVII)	NRA (dBA)	35.00		
relação sinal / ruído mínima (usar valor estabelecido no anexo XXVII)	S/R min @ ALCONS = 15%	25.00		
distância acústica equivalente (adotar 1.00 m)	EAD (m)	1.00		
distância entre boca do locutor e microfone (adotar 0.10 m)	D_s (m)	0.10		
Fonte única é possível				
menor distância entre cluster e microfone	D_1 (m)	6.00		
quantidade de microfones simultaneamente abertos	NOM	1.00		
elemento acústico da perda com a distância	A	0.07		

figura 6.339 preenchimento de outros parâmetros de projeto (distância crítica, NRA, relação sinal/ruído, EAD, etc.) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esse é o final da etapa 3.

etapa 4 – cálculo das perdas equivalentes Esta etapa apenas prepara a etapa seguinte.

Portanto, agora o objetivo é fazer os cálculos das perdas em dB equivalentes às distâncias informadas na etapa 3.

O Galileu calcula todas essas perdas e as apresenta como mostra a coluna com dados em negrito da figura 6.340.

Note que a lógica gráfica do programa é entrarmos com dados e parâmetros nas células de cor amarela, e o programa faz seus cálculos e nos devolve resultados nas células brancas. Se não concordamos com os resultados calculados voltamos atrás e entramos com parâmetros reajustados.

4. Cálculo das perdas equivalentes				
perda equivalente com a distância D_1	ΔD_1	8.98		
perda equivalente com a distância D_3	ΔD_3	-20.00		
perda equivalente com a distância D_2	ΔD_2	19.00		
perda equivalente com a distância EAD	ΔEAD	0.00		
perda equivalente com NOM	ΔNOM	0.00		

figura 6.340 cálculos do programa Galileu de parâmetros relacionados com o controle da microfonia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Este é o final da etapa 4 e agora vamos para a etapa 5.

etapa 5 - condições para controle de microfonia A figura 6.341 representa a parte da planilha que ajuda a estabelecer os critérios para que a microfonia mantenha-se sob controle.

5. Condições para controle de microfonia				
condição 1 para controle de microfonia	ΔD_1 min (dB)	5.0	OK	
condição 2 para controle de microfonia	ΔEAD min (dB)	-3.98	OK	
condição 3 para controle de microfonia	ΔD_3 max (dB)	-16.02	OK	
condição 4 para controle de microfonia	ΔD_2 max (dB)	22.98	OK	
condição 5 para controle de microfonia	NOM máx	2.5	OK	

figura 6.341 conferência de a microfonia está sob controle porque nenhuma das condições de controle da estabilidade da microfonia foram violadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O Galileu reage calcula as perdas indicadas ao lado direito dos rótulos correspondentes, todos iniciando com o símbolo “ Δ ” para denotar que os valores são decibels correspondentes a perdas em distâncias.

Para cada um desses valores, o Galileu compara os valores reais das perdas com as condições de máxima e de mínima estabelecidas para cada caso. Quando os valores estão compreendidos no intervalo válido, o programa acrescenta o termo “OK” à direita do valor, como na figura 6.338. O que significa que o projetista pode prosseguir porque os valores não trarão problemas com microfonia.

Se todos esses valores estiverem OK o projetista pode prosseguir para a última etapa do

dimensionamento, que é a etapa 6.

Outrossim, casos um ou mais valores de perdas não obtenham o “OK” do Galileu, o projetista terá que reorganizar parâmetros e/ou modificar o tratamento acústico até que todos os valores recebam a aprovação com o OK.

etapa 6 – cálculo das potências elétricas necessárias Esta é a última etapa do dimensionamento elaborada com o auxílio do Galileu.

Como uma boa parte dos sistemas profissionais de áudio utiliza caixas acústicas de 2 ou de 3 vias, esta etapa foi desenvolvida para que o projetista possa trabalhar com cada via separadamente.

Veja então a figura 6.342.

6. Cálculo das potências elétricas necessárias				
Nesta etapa final, os parâmetros conduzem aos cálculos de potência elétrica necessária. A partir do que é possível estabelecer a correspondente relação de equipamentos e materiais.				
máxima pressão sonora	SPL máx @ D ₂ (dB A)	100.00		
margem para picos e transientes (baixas frequências)	TPM LF (dB)	10.00		
sensibilidade do cluster em baixa frequência	dB SPL/0dBW/1m LF	99.00		
margem para picos e transientes (médias frequências)	TPM MF (dB)	10.00		
sensibilidade do cluster em média frequência	dB SPL/0dBW/1m MF	105.00		
margem para picos e transientes (altas frequências)	TPM HF (dB)	10.00		
sensibilidade do cluster em alta frequência	dB SPL/0dBW/1m HF	106.00		
potencia elétrica necessária (baixas frequências)	Watts LF	1000.00		
potencia elétrica necessária (médias frequências)	Watts MF	251.00		
potencia elétrica necessária (altas frequências)	Watts HF	200.00		

figura 6.342 cálculo da potência elétrica necessária acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Inicialmente o projetista deve informar qual é o nível de programa desejado. Esta é a primeira linha da planilha. Usualmente esse é o nível que se quer obter na distância D₂, ou seja, no ponto mais afastado da caixa acústica, mas que ainda tenha que ser atendido pelo sistema pois é considerado área de plateia.

Deste ponto em diante os dados são segmentados em baixas, médias e altas frequências.

Começando com as baixas, o projetista vai informar a margem para picos e transientes, em termos de dB, que quer para as baixas frequências. Na sequência ele informa ao Galileu qual é a sensibilidade axial da caixa acústica ou do cluster que vai usar.

No caso da planilha acima esses valores são 10,0 dB e 99,0 dB SPL/0 dBW/1 metro, respectivamente.

Então, o projetista passa a dar essas mesmas informações, mas agora para as médias e depois para as altas frequências.

No caso da planilha acima os valores são 10,0 dB e 105,0 dB SPL/0 dBW/1 metro para as médias frequências e 10,0 dB e 106,0 dB SPL/0 dBW/1 metro para as altas frequências.

O Galileu responde. E informa on que você vê nas três últimas linhas nas células de cor vermelha.

Ou seja: 1000 watts, 251 watts e 200 watts, respectivamente para as baixas, para as médias e para as altas frequências.

E o dimensionamento está completo.

Com um pouco de prática o dimensionamento completo pode ser concluído em algo como dez e quinze minutos. Isso feito, o projetista fica relativamente seguro que a microfonia não será um problema nem que haverá falta ou excesso de potência elétrica.

Caso você queira trabalhar com o Galileu, ele está disponível no meu site, o www.lcysne.com.

6.12.7 Placas de Som e Microfones Alguns programas não usam microfone nem placa de som. Mas outros usam ambos, como é o caso do Smaart e de praticamente todos os programas voltados para o alinhamento de sistemas. Nesses casos, a qualidade final dos resultados vai depender muito de que microfone e de que placa de som são utilizados. Naturalmente, o programa escolhido e o computador que vai abrigar a placa também influenciam os resultados.

A seguir vamos discutir um pouco a questão da escolha dos microfones e das placas de áudio.

6.12.7.1 Microfones Os microfones para uso em teste são um pouco diferentes dos que usamos com maior frequência em áudio.

O primeiro requisito de um destes é que seu padrão de captação seja onidirecional. Por razões técnicas essa classe de microfone costuma ter uma forma física muito peculiar, como sugere a figura 6.340.

Na foto estão os 3 modelos da Earthworks, o M50, o M30 e o M30BX. O primeiro é o topo de linha da empresa. O M30 é o modelo imediatamente abaixo do topo, e o M30BX é o mesmo modelo anterior, mas projetado para operar com bateria. A ideia é que ele possa ser utilizado com notebooks.

A Aco Pacific também possui uma ampla gama de microfones de teste, entre os quais estão os modelos 7016 e o 7052.

A Brüel & Kjaer possui uma cápsula adequada para esse tipo de serviço, que é o modelo 4191.



figura 6.343 microfones da linha de testes da Earthworks acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A Linear X é outro fabricante de microfones de precisão, que disponibiliza os modelos M50, M51 e M52.

A tabela 6.10 mostra resumidamente as principais especificações de cada um dos modelos comentados: tabela 6.10

MARCA	MODELO	RF (Hz – kHz)	SPL MAX	CÁPSULA	CAPTAÇÃO
ACO	7016	2 – 120	175	condensador	onidirecional
	7052	3 – 20	150	eletreto	onidirecional
B&K	4192	3 – 40	161	condensador	onidirecional
Earthworks	M30	5 – 30	142	condensador	onidirecional
	M30BX	9 – 30	142	condensador	onidirecional
	M50	3 – 50	142	condensador	onidirecional
Linear X	M50	10 – 40	130	eletreto	onidirecional
	M51	10 – 40	150	eletreto	onidirecional
	M52	10 – 40	170	eletreto	onidirecional

O uso de microfones para testes implica em manter os transdutores permanentemente calibrados. Por essa razão, a maioria dos fabricantes comercializa uma linha de acessórios que inclui calibradores, pedestais especiais e outros.

A maioria desses microfones é fornecida com arquivos, que fazem, a posteriori, correções no software a fim de controlar e estender a resposta de frequência.

6.12.7.2 Placas de Áudio Há dois tipos principais de placas de áudio. As convencionais e as equipadas com interfaces. As primeiras são inseridas diretamente em algum slot PCI disponível na placa mãe do computador. As segundas possuem uma caixinha externa contendo conectores de entrada e um ou mais cabos de saída ligados a uma placa PCI, ou a um conector Firewire, ou a conector USB.

As placas com interface são preferíveis para a tarefa de testes e medições, porque os cabos ficam mais protegidos dos campos eletromagnéticos existentes no interior dos micros, até certo ponto imprevisíveis.

Além disso, os interfaces oferecem mais espaço. Com isso é possível aumentar a quantidade de entradas e de saídas e obter conexões de melhor qualidade. Por exemplo, muitas das interfaces existentes oferecem entradas balanceadas. O que é praticamente impossível com placas convencionais.

O próximo item a considerar é como a placa é ligada no computador. Já vimos que as

possibilidades são PCI, Firewire e USB.

Embora a conexão PCI seja a mais antiga, ela também é a mais rápida. A seguir, vem a conexão Firewire. E finalmente, a conexão USB. Esta pode ser mais lenta (versão 1.1) ou mais rápida (versão 2.0). A conexão em si não determina a qualidade do áudio resultante, mas é sempre melhor optar pela comunicação mais veloz.

Um dos aspectos chave em qualquer placa de som são os conversores. Há até bem pouco nenhuma placa de áudio tinha bons conversores. Mas isso mudou. E as melhores placas já oferecem excelentes conversores. Embora taxa de amostragem não tenha relação direta com qualidade, recomendo usar placas com taxa de amostragem não inferior a 96 kHz, e de preferência 192 kHz.

Outro aspecto muito importante das placas é a qualidade do driver. Este é o software que organiza tudo na placa de áudio. Portanto, o melhor é adquirir placas com qualidade comprovada e cujo driver possa ser baixado do site do fabricante. O que é muito útil em casos de “upgrade”.

Sobre a quantidade de canais, até se pode trabalhara com placas com mais do que dois canais de entrada. Mas em geral isso é desnecessário.

Sobre os canais de saída, é realmente conveniente se contar com algo como 5.1 ou mesmo mais. As saídas óticas e digitais AES e SPDIF são muito convenientes e, portanto, recomendadas.

Finalmente, para que se tenha a dinâmica indispensável para testes, recomendo placa com relação sinal/ruído mínima de 100,0 dB. Mas aqui, quanto mais melhor.

Algumas das placas que recomendo para uso com software de alinhamento de sistema:
creative labs sound blaster audigy 4 pro 24 bits

192 kHz

PCI

estéreo

relação sinal/ruído 108,0 dB

presonus AD192 external sound system 24 bits

192 kHz

entradas balanceadas (linha) capacidade de saída 7.1

saídas digitais AES e SPDIF

relação sinal/ruído 107,0 dB

M Audio Firewire 410 external sound system 24 bits

192 kHz

2 entradas balanceadas (microfone/linha) conexão Firewire (IEEE 1394) capacidade de saída 7.1, AC-3 (Dolby Digital) e THX

saída digital SPDIF

relação sinal/ruído 106,0 dB

6.12.8 Deficiências e Cuidados É verdade que todos os programas discutidos nos permitem acelerar diversos trechos de quaisquer projetos. Por outro lado, cada um deles apresenta seus próprios inconvenientes.

Se não, vejamos. A maioria dos programas disponíveis pode nos ajudar na etapa de avaliação acústica de qualquer ambiente fechado, além do dimensionamento eletroacústico.

Entretanto, grande parte dos programas tem a chancela de programa proprietário, o que inibe a abertura dos bancos de dados.

Isso significa que quando há necessidade de alternativas, e não se pode optar por qualquer delas, somos obrigados a trabalhar com os dados existentes. De modo que nessas circunstâncias os próprios programas acabam se auto limitando. Outros aceitam dados adicionais. Mas nem sempre as inclusões são de implementação fácil.

Alguns programas são naturalmente deficientes, como por exemplo, não permitindo análises acústicas corretas de casos onde aplicamos difusores tipo QRD, ou difusores de reflexão não especular, como os calculados por teoria de raiz primitiva, e outros tantos.

Outra razão que determina boa parte da deficiência dos programas é que eles desenvolvem cálculos acústicos baseados em conceitos estatísticos e geométricos. Então, parte-se do princípio que a energia sônica está ou será uniformemente distribuída por todo o interior de cada ambiente fechado.

Embora essas premissas não sejam todas verdadeiras, as coisas também já estão progredindo nesse sentido. O Dr. Peter D'Antonio, da RPG, está dando sua mãozinha lá e cá, e

muitos desses programas já começam a apresentar sinais bastante alentadores de que em muito pouco tempo estarão em condições de prestar melhores serviços.

Por outro lado, a teoria ray tracing é costuma ser mais utilizada em detrimento da teoria da progressão por ondas esféricas.

Como vimos antes, o ray tracing nem sempre é a melhor alternativa. E diferenças notáveis podem ocorrer entre os valores calculados pelos programas e informados como previsão, e os valores reais aferidos a posteriori.

Entretanto, quando nossa necessidade coincide com as possibilidades dos programas, é possível ganhar muito tempo, e ainda, criar documentos muito atraentes do ponto de vista mercadológico. Capazes de impressionar qualquer cliente.

Gostaria de poder dedicar mais tempo e espaço a este assunto. Entretanto, ele é tão longo que poderia nos tomar facilmente todas as páginas deste livro.

Assim, informo a seguir a maioria das empresas que desenvolveram programas específicos para uso em projetos sérios de eletroacústica.

Acoustical Supply International Alarmco

Altec Lansing Co.

American Small Business Computers Audiomatica
Bose Corp.

Compact
G Prime Ltd.

Gold Line

Homero Sette Silva - Selenium Information Teknik Scandinavia Inovative Electronic
Designs JBL Professional
Lectrosonics, Inc.

Linear X

Progressive Communications Renkus-Heinz Inc.

SF Marketing Inc.

ShuttleCad

Siemens AG Österreich Signalogic Inc.

Sound Advice
Sound Design Ltd.

Um alerta final. Se você está começando com o áudio, e sente que ainda não tem muita experiência, deve tomar um pouco de cuidado com todos estes programas. Especialmente os que ajudam na parte de dimensionamento eletroacústico.

Já testemunhei alguns casos de pessoas que, sem qualquer pendor aparente para o áudio profissional, ao trabalhar com um ou mais desses programas, se sentem como engenheiros de áudio experientes.

Nada contra o sentimento em si. Mas essa situação é potencialmente muito perigosa, tanto para o profissional, quanto para o cliente. E pode ser o prenúncio de algumas catástrofes.

Realmente, a facilidade de lidar com os programas em si, e a expectativa de uma ajuda fácil que eles podem nos dar, pode ser apenas aparente. Uma espécie de faca de dois gumes.

As figuras coloridas, o visual técnico das apresentações, e a ideia de se estar lidando com algo de alta tecnologia, podem, em conjunto, fazer alguém acreditar que apenas por essas coisas, todos os problemas já estão automaticamente resolvidos. Ledo engano.

Inicialmente, é preciso lembrar que, mesmo para profissionais com experiência, já há uma certa dificuldade em interpretar devida e completamente os resultados informados pelos programas.

Isto é, provavelmente muitos de nós não conseguimos captar o elenco completo das informações que nos são transmitidas.

Outra dificuldade surge quando encontramos uma situação que exige modificar parâmetros. Podemos saber bem, um pouco ou muito pouco o que e como modificar para que as coisas caminhem no sentido de melhoras reais. Quando sabemos pouco, e considerando que é relativamente fácil fazer modificações, as tentativas podem se multiplicar indefinidamente, sem progressos notáveis.

Entendam. Não estou pretendendo criticar os menos experientes. Ao contrário. O que estou é procurando informar que é preciso ter cautela e não endeusar os programas.

Realmente, programas não são brinquedos, nem algo para se fazer jogos tipo tentativa e erro.

Devemos encará-los como ferramentas úteis, com as quais estaremos realmente mais aparelhados do que sem elas. De fato podemos economizar um bom tempo de nossas atividades com esses instrumentos, tempo esse no qual estaríamos envolvidos com cálculos manuais. O que já é uma grande vantagem.

Outra coisa que não podemos pensar é em utilizar os programas apenas para convencer mais facilmente nossos clientes a comprar o que temos para vender. Antes disso, temos nós que nos convencer de que, com o auxílio de qualquer programa, podemos obter melhores

resultados. Para então vendê-los.

Ou seja, só não podemos confundir essas coisas, com fronteiras tão delicadas.

ITEM	PREÇO UNITÁRIO R\$	QTDE	PREÇO TOTAL R\$	NOTAS
01	1.100,00	03	3.300,00	
02	320,00	12	3.840,00	
03	500,00	25	12.500,00	
04	3.000,00	01	3.000,00	
05	6,00	12	72,00	
PREÇO GLOBAL			22.712,00	

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 7 **clusters e line arrays**



Conteúdo do capítulo 7

7. CLUSTERS E LINE ARRAYS

7.1 OS CLUSTERS E A COBERTURA ACÚSTICA 7.2 AUMENTO DE PRESSÃO
SONORA DE UMA PILHA 7.2.1 Por Efeito de Aumento de Diretividade 7.2.2 Por Efeito
de Acoplamento Mútuo 7.2.3 Compensações

7.3 PILHAS E MATRIZES BESSEL

7.3.1 Pilhas Bessel

7.3.2 Matrizes Bessel

7.4 CONFERINDO DIRETIVIDADE AOS SUBWOOFERS

7.4.1 Linhas Broadside 7.4.2 Formatação de Feixes (Beamforming) 7.4.3 Linha Gradiente (Gradient Array) 7.4.4 Endfire
7.4.5 Quasi Endfire
7.4.6 Linha Delta (Delta Array) 7.4.7 LR (Left Right) 7.4.7.1 Comentário 1
7.4.7.2 Comentário 2

7.5 OPÇÕES E CUIDADOS A TOMAR

7.5.1 Motivo nº 1 - Obtenção de Maior Pressão Sonora 7.5.1.1 Primeiro Efeito Adicional 7.5.1.2 Segundo Efeito Adicional 7.5.2 Motivo nº 2 - Obtenção de Controle de Diretividade 7.5.2.1 Primeiro Efeito Adicional 7.5.2.2 Segundo Efeito Adicional 7.5.3 Motivo nº 3 - Distribuição de Energia 7.5.3.1 Primeiro Efeito Adicional 7.5.3.2 Segundo Efeito Adicional 7.5.3.3 Um Caso Todo Especial

7.6 LINE ARRAYS

7.6.1 A Frente de Onda Coerente 7.6.2 A Perda Com a Distância 7.6.3 A Diferença de Potência 7.6.4 O Campo Próximo 7.6.5 A frequência Inferior 7.6.6 O Line array Ideal 7.6.7 Cobertura Angular 7.6.7.1 Cobertura Horizontal 7.6.7.2 Cobertura Vertical 7.6.8 Aplicação dos Sistemas Line array 7.6.8.1 O Trabalho do Projetista 7.6.9 Trapézios 7.6.10 Conclusão

7.7 PROCESSAMENTO FIR PARA LINE ARRAYS

7.7.1 Raios de Sol

7.7.2 Lóbulos

7.7.3 Processamento

7.7.3.1 Atraso de Grupo 7.7.3.2 Fase Linear

7.7.4 Para Onde Vai a Energia 7.7.4.1 Soluções

7.7.4.2 Empilhamentos Verticais e Curvos 7.7.5 Novos Recursos

7.7.5.1 Guias de Onda 7.7.6 Filtros FIR

7.7.6.1 A Grande Vantagem da Fase Linear 7.7.6.2 Filtros Brickwall ou Praticamente

Quaisquer Rampas Desejadas 7.7.6.3 Independência de Magnitude e Fase 7.7.6.4

Resposta de Impulso 7.7.6.5 Flexibilidade 7.7.6.6 Correção de “Defeitos”

7.7.6.7 A Cereja do Bolo 7.7.7 Ferramentas do Projetista 7.7.8 Otimização

Numérica 7.7.8.1 Retoques Eventuais 7.7.8.2 Links

7.7.9 Mais Ferramentas Para Todos

7. CLUSTERS E LINE ARRAYS

Já vimos anteriormente o que são clusters. Não tenho dúvidas que sua real importância para a engenharia de áudio é tanta que absolutamente não é exagero dedicar um capítulo só a este assunto.

Creio que após a leitura de apenas algumas das linhas abaixo isso já deverá ficar suficientemente claro.

As maiores vantagens a que se pode chegar com a utilização de clusters são instalações muito econômicas, combinadas com uma relativa facilidade para a obtenção simultânea dos seguintes predicados: • cobertura acústica adequada por toda a área a ser atendida pelo sistema, de modo que o máximo de energia seja irradiada para esta área, e um mínimo dispersado para quaisquer outras direções • elevados níveis de pressão sonora projetados a grandes distâncias • comportamento das fontes de som como fontes puntiformes Entretanto, o desenho tecnicamente correto de um cluster envolve alguma disposição e disponibilidade de tempo para fazer alguns cálculos simples, e claro, vontade de superar algumas dificuldades. O que é perfeitamente contornável quando se tem o conhecimento básico das técnicas aplicáveis.



figura 7.1 cluster com elevado grau de customização, implantado no Estádio Asteca, México Cortesia BES e Acromedia De um modo geral, os clusters podem ser construídos a partir de itens disponíveis no mercado, de linhas normais de produção. Ai incluídas caixas acústicas dos mais diversos tipos, falantes, cornetas e tweeters. Mas também há casos que exigem clusters com características de direcionamento tão próprias e inusitadas que a utilização de itens customizados torna-se a alternativa técnica mais correta, e às vezes, a única. Dessa forma a customização é bem mais do que uma simples eventualidade na vida do engenheiro de áudio.

A figura 7.1 nos dá uma boa idéia do que é um cluster customizado, e das linhas mestras de seu desenho. Este cluster foi elaborado para atender a um particular conjunto de requisitos, ou não atingíveis de outra forma, ou só atingíveis com esforços extraordinários.

Naturalmente, as dificuldades que mencionei anteriormente são ainda maiores quando o

elevado grau de customização é inevitável. Portanto, se pretendemos desenhar clusters corretamente, devemos ter uma boa noção do que são essas dificuldades.

7.1 OS CLUSTERS E A COBERTURA ACÚSTICA De fato, é possível projetar clusters com quaisquer diretividades que queiramos.

As técnicas para aumento da cobertura no plano horizontal, e para obtenção de maior diretividade no plano vertical, como discutimos no capítulo 6, podem ser aplicadas à exaustão quando trabalhamos com clusters.

Os princípios básicos que governam os padrões de diretividade de arranjos físicos de falantes foram aprendidos aos poucos. E graças a muitas pesquisas feitas por um sem número de profissionais, que trabalharam com diferentes combinações de falantes. De um modo bastante simplista, a questão se resume em somar vetorialmente num dado ponto do espaço as pressões sonoras provenientes dos falantes combinados.

Podemos dizer que o elemento fundamental de qualquer cluster é a pilha (array). O que nos impele a começar esta discussão com um arranjo hipotético simples, em forma de pilha vertical. Como mostra a figura 7.2.

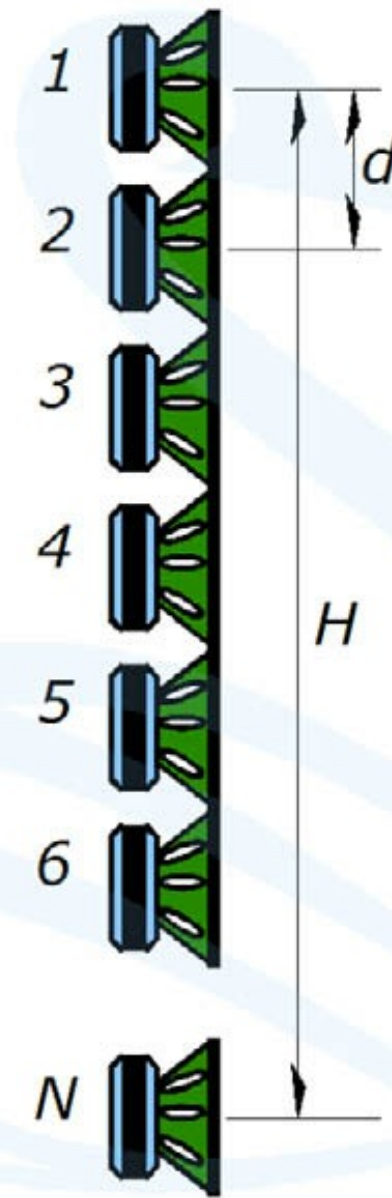


figura 7.2 pilha de falantes iguais entre si acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Lá estão falantes iguais entre si, dispostos verticalmente com todos os componentes alinhados num mesmo eixo. A distância entre dois falantes adjacentes quaisquer é d . E a altura total da pilha é H . A primeira expressão que se torna evidente quando olhamos para a figura 7.2 é

$$H = (n - 1) d \quad (7.1)$$

sendo n a quantidade de falantes da pilha.

Os arranjos elétricos para pilhas como estas são sempre feitos para que, quando a pilha seja energizada, todos os componentes trabalhem em fase. Ou seja, se esses componentes são falantes convencionais de radiação direta, quando o cone de um deles estiver se movendo para a frente, todos os outros também deverão estar.

A figura 7.3 ilustra uma situação na qual duas pessoas, **A** e **B**, estão muito afastadas e igualmente distantes de uma pilha de falantes.

A linha imaginária que representa o eixo principal da pilha, perpendicular ao plano de montagem dos falantes, passa pela cabeça do indivíduo **A**. De modo que, para efeitos práticos, podemos considerar que os ouvidos desse indivíduo estão localizados naquele eixo. Por isso, as ondas provenientes de todos os falantes da pilha chegarão em fase aos ouvidos da pessoa **A**.

E serão simplesmente somadas.

Os ouvidos do indivíduo **B** da figura estão localizados no plano vertical que contém o eixo principal da pilha. Porém, numa posição mais elevada do que a do indivíduo **A**. De sorte que a linha imaginária que une os ouvidos de **B** com o centro geométrico da pilha fazem um ângulo d com o eixo principal. Como mostra a figura 7.3.

O que significa que as distâncias entre os ouvidos do indivíduo **B** e cada um dos falantes da pilha não são mais as mesmas, como no caso anterior. E por isso, as ondas sonoras dos diversos falantes não chegam em fase a seus ouvidos.

Como consequência, a soma vetorial dessas ondas, progressivamente mais e mais fora de fase, é cada vez menor do que a soma obtida quando as ondas chegam em fase. E a diferença é tão maior quanto maior é o ângulo d .

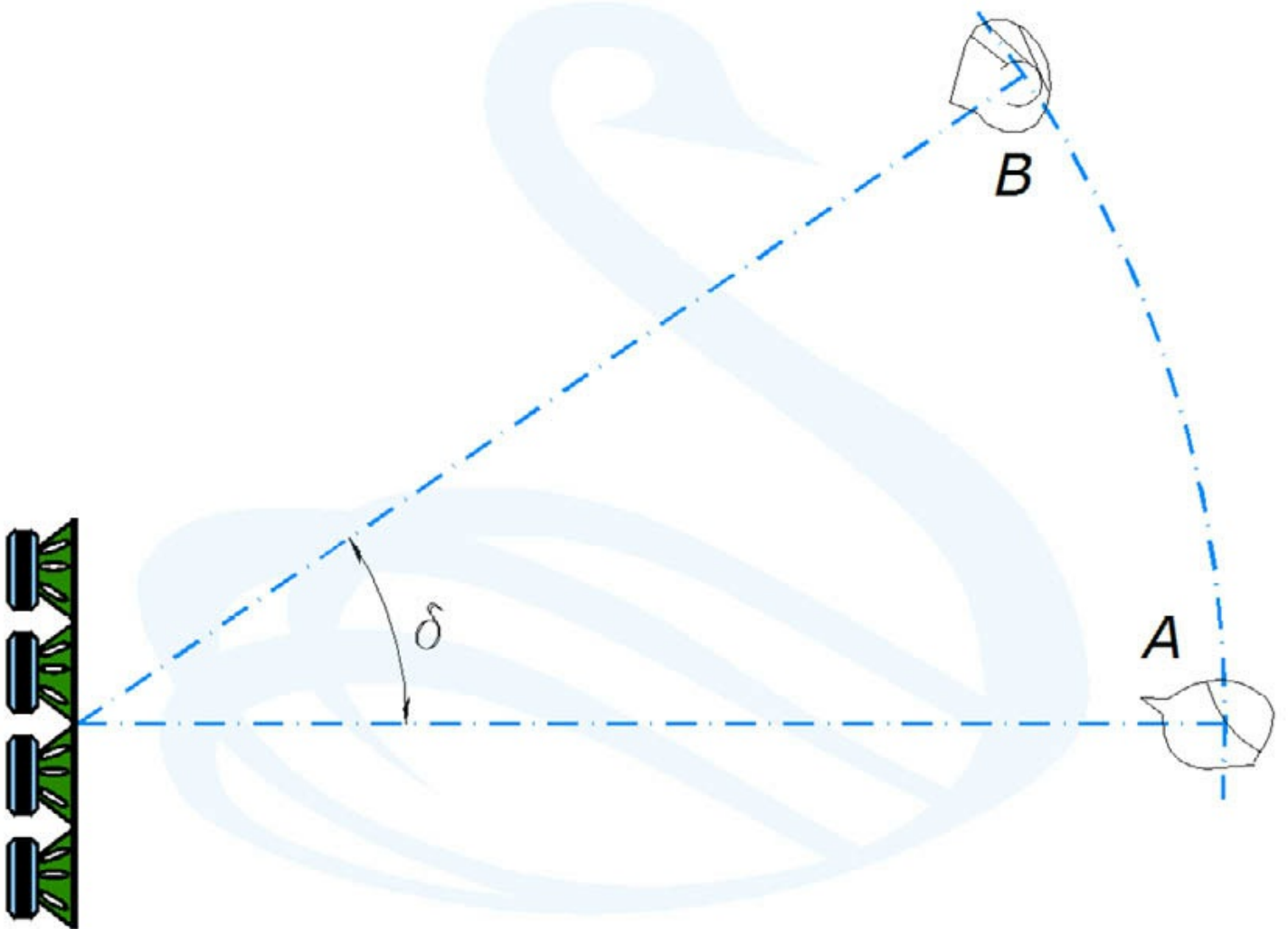


figura 7.3 indivíduos igualmente afastados de uma pilha vertical de falantes **A**. no eixo principal da pilha **B**. no mesmo plano vertical de **A**, mas angulado em relação ao eixo principal acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isso significa que uma pilha vertical de falantes exibe suas próprias características de diretividade, com maior concentração de energia em seu eixo principal. Este fenômeno físico é totalmente independente da diretividade dos falantes da pilha. Tanto que, mesmo que os falantes da pilha não sejam direcionais, o fenômeno e seus efeitos ainda são verdadeiros.

O aumento de diretividade das pilhas de falantes é denominado efeito feixe (beaming). No caso das pilhas verticais, ele ocorre no plano vertical, enquanto não há qualquer alteração de diretividade no plano horizontal. Neste, o comportamento da pilha é idêntico ao de seus

componentes.

O que estamos estudando para uma pilha vertical também aplica-se a pilhas horizontais. Neste caso, o efeito feixe ocorrerá no plano horizontal, e não haverá mudanças no plano vertical. E raciocínio análogo é aplicável a pilhas com quaisquer inclinações.

Agora que temos uma idéia geral do que acontece com a diretividade das pilhas, estamos interessados em saber em que condições ocorre o efeito feixe, e em que outras ele não se manifesta. E no primeiro caso, queremos poder aferi-lo para que, assim, possamos utilizar esses conhecimentos na prática.

Anos e anos de pesquisas com as pilhas evidenciaram a grande importância de duas frequências em especial, ambas relacionadas com as características geométricas dos arranjos. A primeira frequência tem comprimento de onda igual à altura **H** da pilha, e a segunda tem comprimento de onda igual à distância **d** da pilha. A primeira é chamada frequência Limiar Inferior, ou FLI, e a segunda frequência Limiar Superior, Ou FLS.

Podemos calcular a FLI com o auxílio da expressão

$$\lambda_{FLI} = \frac{v}{FLI} \Rightarrow FLI = \frac{v}{H} \quad (7.2)$$

onde

- FLI é a frequência Limiar Superior em Hz
 - v a velocidade do som em m/s, e
 - H a altura da pilha, em metros
- Podemos determinar FLS do mesmo modo

$$\lambda_{FLS} = \frac{v}{FLS} \Rightarrow FLS = \frac{v}{d} \quad (7.3)$$



figura 7.4 FLI e FLS dispostas no espectro de frequências de áudio acervo do engº Luiz Fernando O.

Cysne A figura 7.4 representa o espectro de frequências de áudio, no qual estão assinaladas as frequências FLI e FLS. Dessa maneira o espectro fica segmentado nas regiões R1, R2 e R3.

A característica mais marcante das regiões R1 e R2 é que nelas os componentes das pilhas se comportam principalmente como fontes omnidirecionais de som. Benecke e Sawade dedicaram muito tempo estudando o comportamento das pilhas nas regiões R1 e R2. A síntese de seus estudos permitiu que pudéssemos calcular o aumento de diretividade na região R2, através do que eles próprios denominaram fator K, ou fator de aumento de diretividade:

$$K = \frac{P}{P_0} = 2,4 \sqrt{d \cdot f} \quad (7.4)$$

onde

• p é a pressão sonora medida no eixo principal da pilha, a uma distância relativamente grande desta

• p_0 é a pressão sonora que seria medida no mesmo ponto anterior, mas como se a pilha estivesse produzindo apenas ondas esféricas

• d é o afastamento entre os falantes da pilha, em metros, como na figura 7.2, e

• f é a frequência para a qual se quer calcular o aumento de diretividade, em kHz

Portanto, esta expressão é aplicável aos casos de falantes não direcionais, e é válida para frequências compreendidas entre FLI e FLS.

Medições diversas mostram que em baixas frequências as cornetas acústicas não são dispositivos direcionais. Por isso, o efeito feixe para cornetas trabalhando em baixas frequências pode se mostrar particularmente pronunciado.

A expressão 7.4 mostra claramente que o efeito feixe aumenta progressivamente com a frequência. Em razão disso, na parte superior da região R2 o efeito torna-se tal que pode não guardar mais qualquer relação com a diretividade dos componentes da pilha, isoladamente considerados.

A região R3 foi exaustivamente pesquisada por Vinogradova e Furduek. Nessa região, os componentes da pilha já apresentam comportamento direcional. Os dois pesquisadores concluíram que, nesta região, o aumento da relação de diretividade da pilha é aproximadamente igual a

$$\Delta Q = n \cdot Q \quad (7.5)$$

onde

• ΔQ é o aumento de diretividade da pilha,

• n é quantidade de falantes direcionais combinados, e

• Q a relação de diretividade de cada falante, individualmente considerado

A aproximação é aparentemente satisfatória para uso em trabalhos de engenharia de áudio. Mas devemos lembrar que as relações de diretividade de quaisquer falantes também tendem a aumentar com a frequência.

Logo, isso sugere que, para obtenção de cálculos mais exatos, a expressão 7.5 deve ser aplicada para bandas de frequências nas quais as relações de diretividade se mantêm mais ou menos constantes.

Outra alternativa seria fazer os cálculos para frequências discretas, e interpolar os resultados.

Vamos fazer um exercício a partir da figura 6.17 do capítulo 6.

Suponhamos que o afastamento entre as cornetas seja 0,5 metro, e que os ângulos de cobertura das cornetas sejam $\angle CH=60^\circ$ e $\angle CV=40^\circ$. Então, podemos calcular a relação de diretividade geométrica de cada corneta:

$$Q_G = \frac{180^\circ}{\arcseno \left(\seno \frac{60^\circ}{2} \cdot \seno \frac{40^\circ}{2} \right)} = 18,28$$

Também podemos calcular

$$FLS = \frac{344}{0,5} = 688 \text{ Hz}$$

A partir dessa frequência teremos uma pilha com relação de diretividade igual a

$$4 \times 18,28 = 73,12$$

Abaixo de FLS o aumento da diretividade deve ser calculado de acordo com a expressão 7.4.

Vemos então que, se formos desenhar pilhas de falantes, podemos escolher as distâncias **d** e **H** com o objetivo de obter valores específicos para FLI e de FLS. É o que se chama de desenhar um elemento de cluster com o objetivo de controlar os limites das regiões R1, R2 e R3.

7.2 AUMENTO DE PRESSÃO SONORA DE UMA PILHA
7.2.1 Por Efeito de Aumento de Diretividade Imagine que tenhamos 2 falantes montados lado a lado, numa pequena pilha, como mostra a figura 7.5.

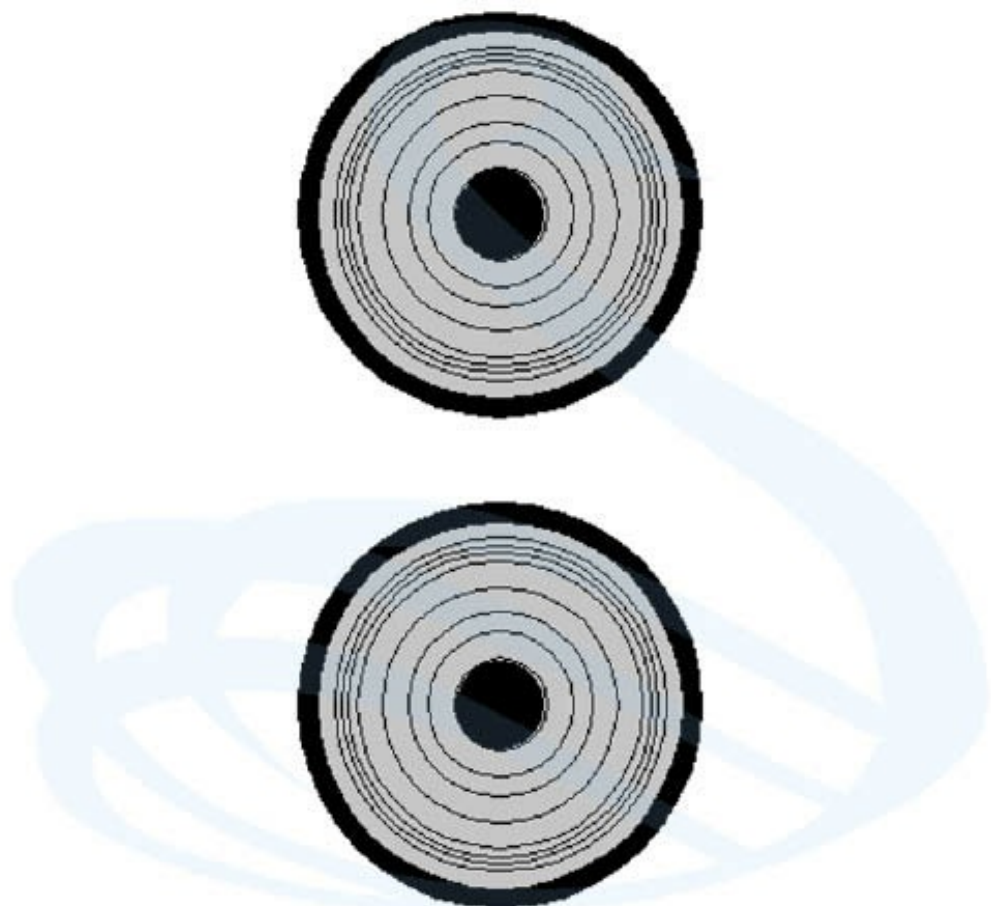


figura 7.5 dois falantes montados lado a lado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se os falantes estiverem em fase, e cada um deles estiver produzindo sozinho uma pressão sonora de 100 L_p a 5,0

metros de seu eixo principal, a soma simples de suas energias, numa primeira tentativa para determinação do L_p produzido pela combinação, poderia ser uma simples soma de decibels, tal como vimos no capítulo 2. E faríamos a conta

$$10\log(10^{\frac{100}{10}} + 10^{\frac{100}{10}}) = 103,0\text{dB}$$

O resultado de nosso cálculo mostra a soma das contribuições dos dois falantes.

Mas se formos medir a pressão sonora no ponto considerado, apenas para conferir se temos ou não os 103,0 L_p a 5,0 metros, dependendo da frequência do sinal, os valores indicados pelo instrumento poderão ser maiores do que a conta indica.

Essas diferenças entre os valores medidos e os calculados resultam diretamente do efeito feixe.

Para deixar isso um pouco mais claro, passo a relatar uma das experiências que realizei com uma pilha de 6 cornetas equipadas com drivers de compressão de qualidade.

Todas as cornetas eram iguais, e tinham as seguintes especificações ângulos de cobertura: $\angle CH=90^\circ$ e $\angle CV=40^\circ$

relação de diretividade nominal: $Q = 10,7$ (valor indicado como sendo médio) índice de diretividade : $DI = 10,3 \text{ dB}$

frequência mais baixa com que o driver pode trabalhar: 400 Hz crossover recomendado: 500 Hz sensibilidade axial: 112 L_p 0 dBW 1 metro dimensões da corneta ($L \times A \times P$): 445 mm x 279 mm x 236 mm As 6 cornetas foram montadas numa pilha vertical com distanciamento de 28,0 centímetros de uma corneta para a outra. Ou seja, $d = 0,28 \text{ m}$. A altura H da pilha resultou 1,40 metros Inicialmente calculei

$$FSI = \frac{344}{1,40} \cong 246 \text{ Hz}$$

E

$$FLS = \frac{344}{0,28} \cong 1.300 \text{ Hz}$$

A seguir, medi a sensibilidade axial de cada uma das cornetas com seus drivers.

Todas as medições indicaram valores muito consistentes entre si, apontando para uma figura média de 112,1 L_p 0 dBW 1 metro.

Então, trabalhando com uma corneta por vez, e operando com 16 watts (12,0 dBW), medi a pressão sonora a 1 metro de seus eixos principais. Novamente, os valores medidos foram consistentes. Estavam todos muito próximos de 124 L_p (112 L_p + 12 dBW).

Também fiz medições a 5,0 metros das cornetas, em seus eixos principais, e medi valores em torno de 110 L_p . A diferença dos 14,0 dB correspondeu à perda equivalente a distância de

5,0 metros ($20 \log 5$).

Se fosse pensar numa pressão sonora do conjunto a 5,0 metros da pilha, consideradas apenas as contribuições das cornetas operadas ao nível de 12 dBW cada uma, teria que calcular

$$10 \log 10^{\left(\frac{110}{10} + 10 \frac{110}{10} + 10 \frac{110}{10} + 10 \frac{110}{10} + 10 \frac{110}{10} + 10 \frac{110}{10} \right)} = 117,8 L_p$$

A seguir, energizei cada uma das cornetas com 12 dBW. Como estava trabalhando na região R3, portanto acima de 1.300 Hz, meu sinal de teste era uma banda de duas oitavas, centrada em 4.000 Hz (2.000 a 8.000 Hz). E fui medir a pressão sonora a 5,0 metros da pilha, com todas as cornetas funcionando simultaneamente. O resultado a que cheguei foi 125,3 L_p .

Portanto, houve um aumento de $125,3 L_p - 117,8 L_p = 7,5$ dB devido apenas ao efeito feixe.

Fiz medições com frequências discretas de 2 a 8 kHz, com incrementos de 1.000 Hz. Os aumentos em relação aos 117,8 L_p se mostraram ligeiramente crescentes com a frequência, indicando que a relação de diretividade das cornetas aumentava com a frequência.

Também conferi que os aumentos de diretividade reais são efetivamente muito próximos dos que podem ser calculados com a aplicação da expressão 7.5.

Como as cornetas também podiam ser operadas na região R2, calculei o fator K para 500 Hz.

$$K = 2,4 \sqrt{1,4 \times 0,5} \cong 2$$

Qualquer fator K também pode ser expresso em decibels para indicar diretamente o aumento da pressão sonora devido ao efeito feixe. A expressão para fazê-lo é

$$\Delta p = 20 \log K \quad (7.6)$$

onde

- Δp é o aumento de pressão sonora esperado, e
- K a figura obtida diretamente com a aplicação da expressão 7.4

Em meu caso

$$\Delta p = 20 \log 2 \cong 6,0 \text{ dB}$$

As medidas que efetuei ficaram ligeiramente acima do que os cálculos indicavam. Veremos o porque disso adiante.

Vamos tentar interpretar os resultados a que cheguei com minha experiência na região R3. Lembrando que a relação de diretividade é um conceito construído a partir da comparação da

intensidade de som desenvolvida por uma fonte direcional de som com a intensidade de som desenvolvida por uma fonte equivalente, mas omnidirecional, ou se quisermos, pela comparação das pressões sonoras elevadas ao quadrado, então podemos escrever

$$10 \log (10,7) \cong 10,3 \text{ dB}$$

que seria a medida do aumento de pressão sonora de uma fonte com $Q = 10,7$, tal como qualquer das cornetas que utilizei, em relação a uma fonte de som omnidirecional.

Por outro lado, o novo Q que obtive com minha pilha de 6 cornetas é

$$10,7 \times 6 = 64,2$$

Por isso, também podemos escrever

$$10 \log (64,2) \cong 18,1 \text{ dB}$$

E agora, ainda em relação a uma fonte de som omnidirecional, esta seria a medida do aumento de pressão sonora de uma fonte com $Q = 64,2$, como a pilha das 6 cornetas.

Logo, o aumento esperado por força do efeito feixe é $18,1 \text{ dB} - 10,3 \text{ dB} = 7,8 \text{ dB}$. Este é o resultado teórico esperado, contra o qual pode ser comparado o resultado prático dos $7,5 \text{ dB}$, ao qual cheguei.

7.2.2 Por Efeito de Acoplamento Mútuo Penso que este é um assunto muito comentado, mas raramente explicado em revistas, e mesmo em livros especializados. Dificilmente encontramos discussões sobre ele em quaisquer textos.

Uma vez calculado o valor de FLI pela expressão 7.2, sabemos a partir de que frequência podemos contar com aumento de pressão sonora numa pilha, como decorrência do efeito feixe. E também, que abaixo dessa frequência não teremos aumento de pressão sonora resultante de aumentos de diretividade.

Isso acontece porque os comprimentos de onda das baixas frequências são grandes se comparados com as dimensões da altura H das pilhas.

Por exemplo, se ainda quisermos obter efeito feixe a 100 Hz , precisamos de uma pilha com altura de $344,100 = 3,44$ metros. Ainda assim, a expressão 7.4 nos mostra que o efeito seria muito reduzido.

Vamos calculá-lo

$$K = 2,4 \sqrt{3,44 \times 0,1} \cong 1,4$$

E o aumento teórico de toda a pilha de $3,44$ metros seria

$$20 \log (1,4) \cong 2,9 \text{ B}$$

Entretanto, na região das baixas frequências, tipicamente abaixo de 500 Hz , podemos

esperar por um aumento de pressão sonora resultante da combinação de falantes que não está relacionado com a diretividade da combinação. O aumento da pressão sonora deve-se ao arranjo dos radiadores de baixas frequências montados todos muito próximos entre si, e num mesmo plano.

Trata-se do efeito acoplamento mútuo.

Vimos anteriormente que as características de radiação dos falantes de baixas frequências são tipicamente omnidirecionais. Isso acontece até a frequência na qual o comprimento de onda é igual ao diâmetro efetivo do cone. Desta frequência para cima, o comportamento do falante passa a ser direcional.

Naturalmente a transição não é abrupta, mas algo que vai acontecendo de forma bem gradual. Consequentemente, quando o cone de um desses falantes se move para a frente, produzindo a compressão da massa de ar que está a sua frente, essa compressão tende a se propagar na forma de ondas hemisféricas, e não radialmente.

O mesmo ocorre com o processo inverso, que produz as rarefações da massa de ar. De modo que a sucessão de compressões e rarefações alternadas na frente do falante assume o aspecto ilustrado na figura 7.6.

O conceito que vou expor agora é a chave para o entendimento de tudo o que se refere ao acoplamento mútuo, e também, a diversos outros fenômenos eletroacústicos.

Quando digo que tenho dois falantes trabalhando juntos, e que se cada um produz $100 L_p$ a uma determinada distância, nessa mesma distância os dois juntos produzem $103 L_p$, também estou dizendo que cada um dos falantes é obrigado a promover compressões e rarefações sozinho, sem qualquer ajuda.

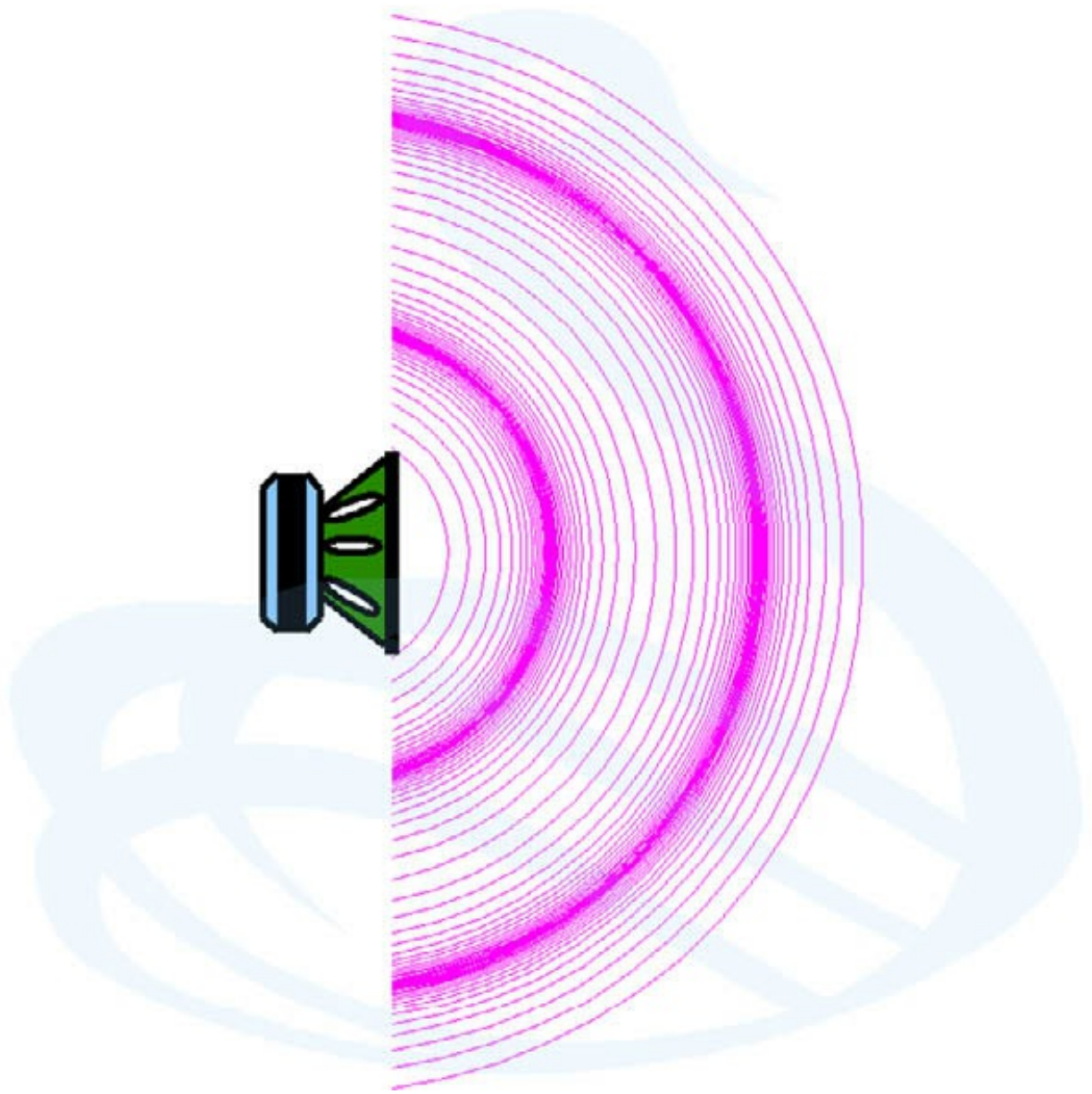


figura 7.6 sucessão de compressões e rarefações provocadas por um falante radiando hemisfericamente
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

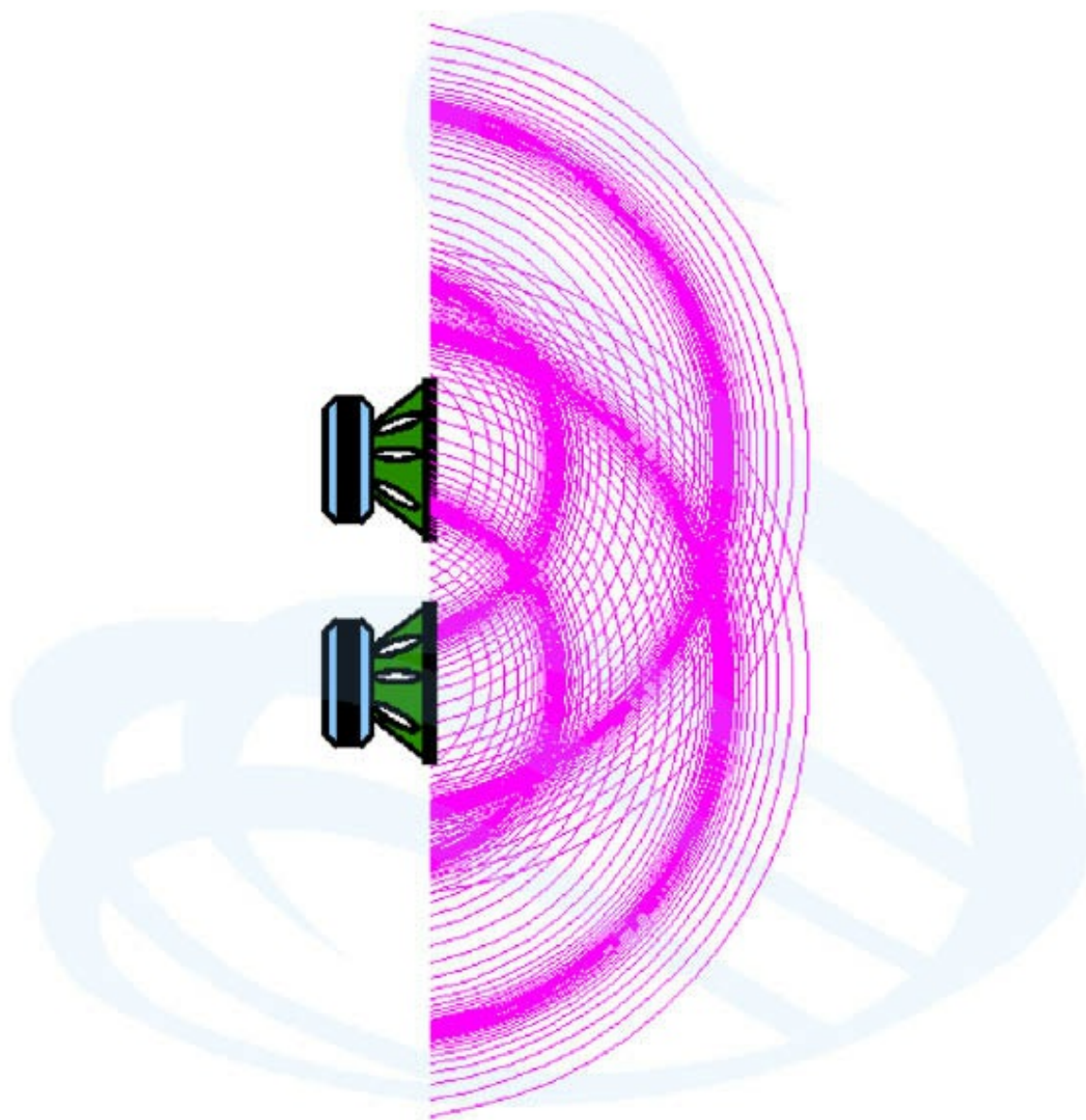


figura 7.7 sucessão de compressões e rarefações provocadas por um falante irradiando hemisféricamente, montado ao lado de outro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mas agora, preste atenção. Quando dois falantes (ou mais) estão muito próximos uns dos outros, como na figura 7.7, e uma vez que a compressão se propaga hemisféricamente, quando o cone de um dos falantes da pilha se move para a frente, a massa de ar comprimida atinge a “a região espacial de trabalho” do outro falante. O mesmo acontecendo quando o cone se move para trás, rarefazendo a massa de ar.

Dessa forma, quando o segundo falante trabalha juntamente com o primeiro, e ambos estão em fase, quando o cone deste segundo falante se move para a frente para comprimir a massa de ar que está a sua frente, esta mesma massa de ar já está sendo comprimida pelo primeiro falante.

E tudo se passa como se o segundo falante tivesse que efetuar um trabalho que já está sendo parcialmente feito por mais alguém. Do ponto de vista do segundo falante, essa “ajuda extra” vem de algum lugar que ele desconhece, mas ela é sempre muito bem vinda. Raciocínio idêntico é totalmente aplicável às rarefações. Ou seja, a ajuda acontece por todo o tempo em que os dois falantes estiverem trabalhando juntos.

E assim como o primeiro falante ajuda o segundo, este também ajuda o primeiro. Na mesma medida.

Em termos mais técnicos, podemos colocar da seguinte maneira.

A saída acústica de um sistema de caixa acústica com um falante de baixas frequências é bastante uniforme no segmento do espectro que vai da primeira frequência de ressonância do sistema até a frequência na qual o cone começa a se comportar direcionalmente.

Isso ocorre porque, como o comportamento eletroacústico do sistema neste segmento é controlado pelas massas, as reduções de movimento dos cones com o aumento da frequência são proporcionalmente compensadas pela resistência à radiação.

Para efeitos práticos, considera-se que nessa região, que vai tipicamente de 100 a 500 Hz, a pressão sonora radiada é bastante uniforme, e dada pela expressão:

$$|p|_C = \frac{V_{CA} \cdot B \cdot l \cdot \rho_0}{(Z_S + R_E) \cdot M_A \cdot 4 \cdot \pi \cdot d \cdot S_D} \quad (7.7)$$

onde

- V_{CA} é a voltagem a circuito aberto do amplificador,
- B é o fluxo magnético no entreferro dos falantes,
- l é comprimento total da bobina móvel do falante,
- ρ_0 é a densidade do ar,
- Z_S é a impedância de saída do amplificador,
- R_E é a resistência ôhmica da bobina móvel do falante,
- M_A é a soma de todas as massas acústicas envolvidas, inclusive as massas do diafragma e da bobina móvel, assim como as massas acústicas de ar que “carregam” a frente e a traseira do cone falante,
- d é a distância entre o falante e o ponto de referência, e
- S_D é a área efetiva de pistonagem do falante

Se analisarmos a expressão 7.7, entenderemos porque quando se quer aumentar a eficiência de um falante se pensa em reduzir a resistência acústica do cone aos movimentos, ou aumentando a força aplicada a bobina móvel.

Entretanto, há limitações para essas coisas, que determinam as soluções de compromisso para cada falante projetado.

Por exemplo, reduzir a massa do cone para aliviar sua resistência aos movimentos traz a reboque o inconveniente de maiores níveis de distorção.

Também há limites para o aumento do fluxo magnético no entreferro, por exemplo com magnetos mais potentes.

Do mesmo modo, pretender aumentar o comprimento l da bobina provoca efeitos colaterais. Como aumentar a massa M_A , e se constituir num problema geométrico, de vez que há mais volume a ser contido no mesmo espaço de entreferro.

Entretanto, aquela “ajuda extra” que ocorre em casos como o da figura 7.7, não altera quaisquer dos parâmetros acima, exceto por M_A , que torna-se naturalmente reduzida.

A expressão 7.7 mostra claramente que a pressão sonora varia com o inverso desse parâmetro. Desse modo, torna-se evidente porque ocorre o aumento da eficiência do falante por acoplamento mútuo.

Por ser um fenômeno mútuo, cada um dos falantes combinados tem, agora, sua eficiência aumentada. Acoplamento mútuo é apenas o nome de batismo que se deu para essa ajuda recíproca. Por sinal, muito bem escolhido.

Resta mencionar que o acoplamento mútuo é obtido com quaisquer quantidades de falantes que combinemos.

Eis a razão do aumento do nível da pressão sonora do conjunto, além da simples soma das contribuições de cada componente, como se cada um deles estivesse trabalhando sozinho.

Com efeito, a pressão sonora produzida pelo conjunto, em baixas frequências, é consideravelmente mais elevado do que a simples soma das contribuições de cada componente.

O principal requisito aqui é que os falantes sejam montados tão próximos dos demais quanto possível. E a razão é que dessa forma as chances de que os sinais sejam mantidos em fase é maior.

Na prática, essa condição é tão mais fácil de ser conseguida quanto maior é o grupo de falantes combinados, e também quanto mais baixa é a frequência com a qual se trabalha.

Quando se pensa em termos de acoplamento mútuo, a eficiência dos falantes tende a aumentar sempre com a redução das frequências, quando também aumentam os comprimentos de onda.

Infelizmente, os cálculos que permitem predizer aumentos de pressão sonora por efeito do acoplamento mútuo são muito dependentes das próprias características dos falantes, e por essa razão, dificilmente podem ser matematicamente expressos para uso genérico.

Mas para que se possa ter ao menos uma idéia de grandeza das figuras, posso informar sobre números que obtive em outra experiência, que fiz há alguns anos, utilizando dois falantes Altec 515B. Na parte mais baixa do espectro, em torno de 75 Hz, o aumento foi de aproximadamente 6,0 dB, e na parte mais elevada do espectro de reprodução desses falantes, que no caso específico era 500 Hz, o aumento constatado foi de apenas 1,6 dB.

Quanto mais falantes forem combinados, maior será o aumento de pressão sonora exclusivamente devido ao acoplamento mútuo.

7.2.3 Compensações A expressão 7.4 nos mostra que os aumentos de pressão sonora devidos ao efeito feixe na região R2 são menores para frequências mais baixas. Isso também é aplicável aos falantes de cone que respondem pelas partes mais baixas do espectro contido na região R2.

Por outro lado, os efeitos do acoplamento mútuo são menores para as frequências mais altas. E assim, uma coisa pode compensar a outra. Os aumentos de pressão sonora por efeito feixe nas regiões R2 e R3, crescentes com a frequência, ambos comentados anteriormente, tendem a nos dar níveis progressivamente mais elevados à medida que subimos no espectro.

Ocorre que cornetas equipadas com os melhores drivers de compressão fabricados no mundo, e tweeters, são transdutores que, por razões físicas, e não por tendências contumazes, apresentam quedas típicas na resposta acústica de cerca de 6,0 dB/oitava, usualmente a partir de 3 kHz.

O fato deve-se a muitos fatores, sendo os principais a impossibilidade prática de se construir motores mais potentes, e massas móveis mais leves, e ainda, suficientemente robustas.

Novamente, essas características dos transdutores e os aumentos de pressão sonora por efeito feixe podem ser combinados para que o resultado seja uma compensação natural.

7.3 PILHAS E MATRIZES BESSEL

O matemático alemão Freidrich Bessel nos brindou com o que veio a ser chamado de função Bessel.

O que é apenas um tratamento matemático muito utilizado em vários campos da física. Inclusive no áudio.

Em razão das propriedades da função Bessel, se combinarmos infinitos falantes numa pilha, basta que ponderemos os sinais entregues a cada um dos falantes de forma adequada, e como resultado teremos diretividade da pilha igual à de qualquer um dos falantes, individualmente combinados.

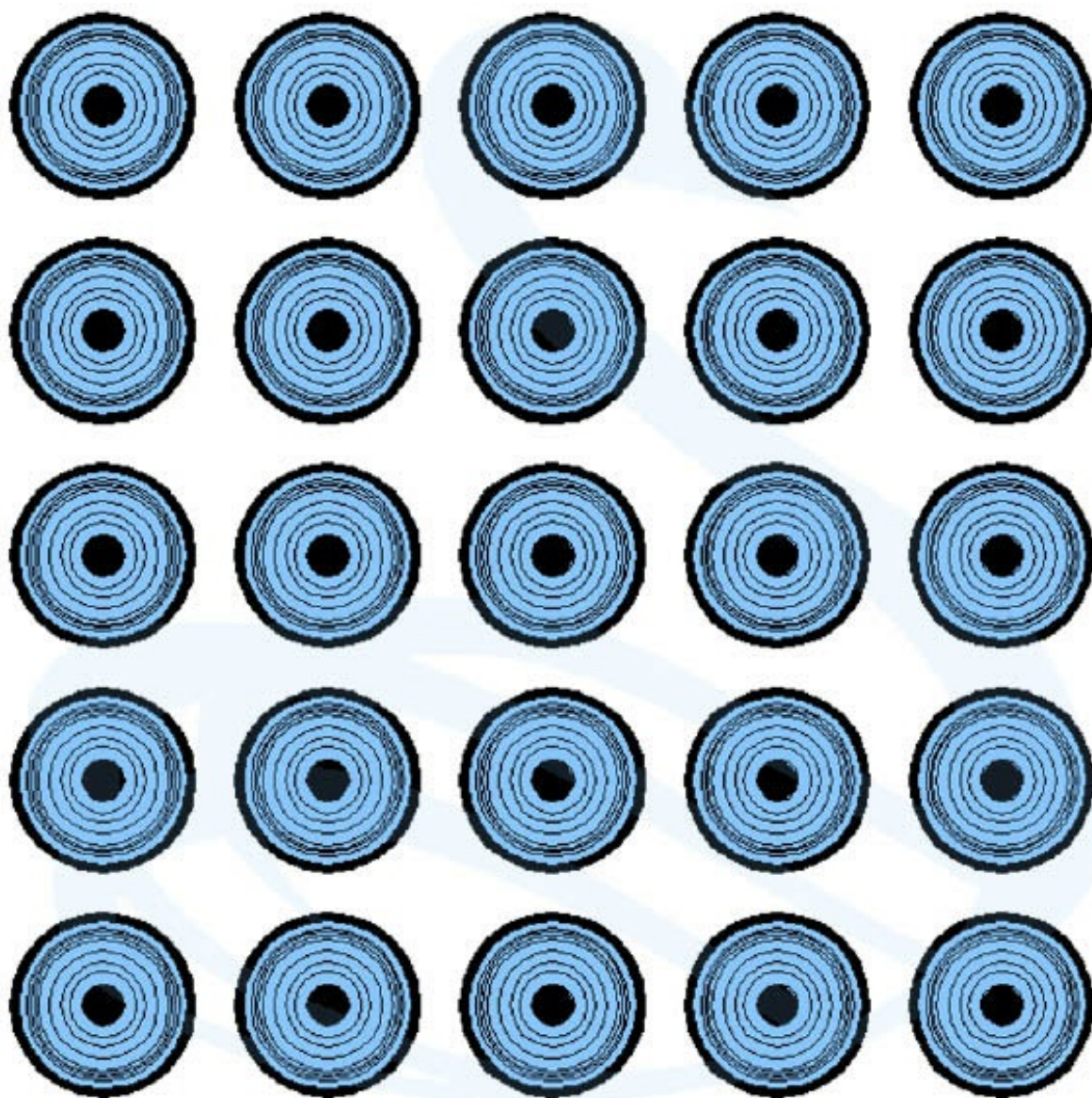


figura 7.8 matriz Bessel acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Com algumas aproximações, podemos obter o mesmo resultado para pilhas com quantidades finitas de falantes. E nesse caso, podemos entender quantidades finitas como combinações de apenas 5 ou 6 falantes.

A grande vantagem no uso desta técnica é que isso tudo é não só aplicável às pilhas, mas também a matrizes de falantes. O que chamo de matrizes de falantes são pilhas verticais colocadas lado a lado, paralelamente, formando um conjunto de falantes, como ilustra a figura 7.8.

7.3.1 Pilhas Bessel

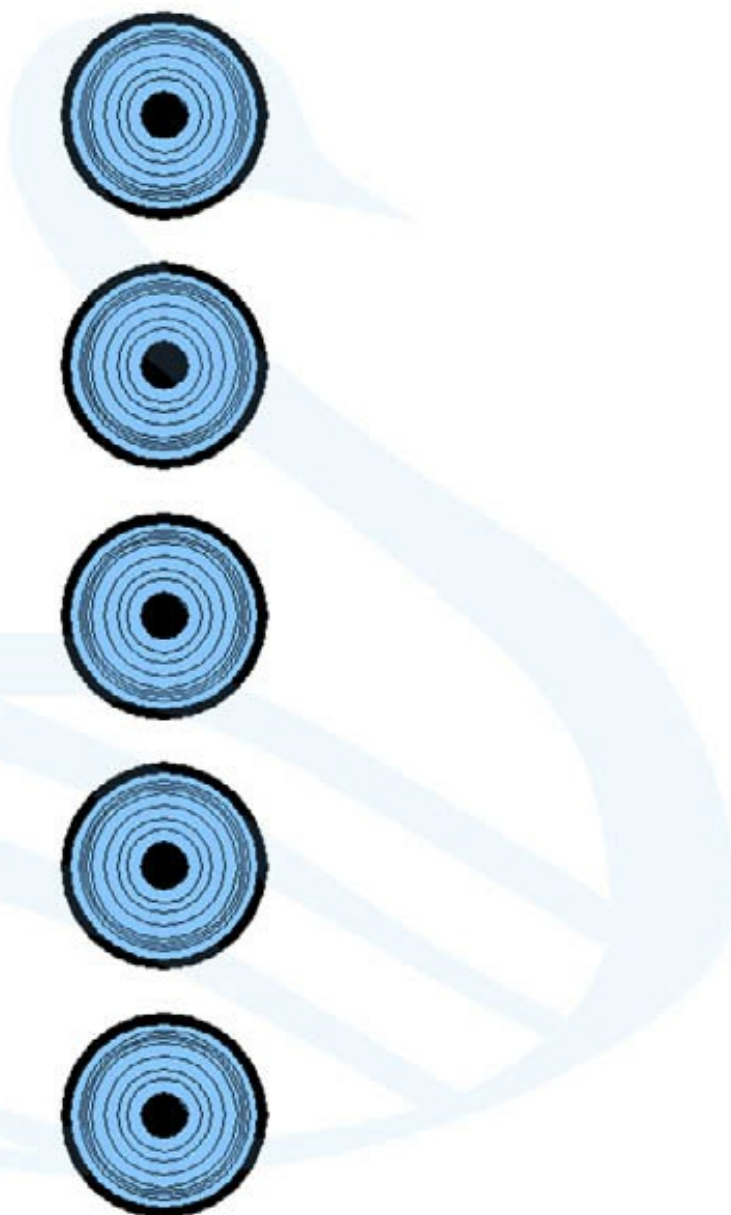


figura 7.9 pilha Bessel com 5 falantes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se montarmos uma pilha convencional, e ponderarmos os sinais que são entregues para cada um dos falantes, poderemos ter uma diretividade muito semelhante ao de cada falante combinado, individualmente considerado.

A ponderação para cada falante, em sua ordem na pilha, está relacionada com a ordem da função Bessel.

Até pouco tempo, entendia-se que os fatores de ponderação eram de aplicação prática inconveniente, pois geralmente resultavam em valores fracionários bem quebrados.

Pesquisas recentes mostraram que quando se escolhe um fator unitário de ponderação para os falantes extremos da pilha, e fatores superiores para os demais falantes, as soluções tornam-se bem mais simples, com grau de aproximação ainda aceitável.

Vejamos isso com um exemplo.

A figura 7.9 nos mostra uma pilha de 5 falantes. Aplicado o critério acima, os fatores de ponderação de cima para baixo seriam:

1
$2n$
$2n^2$
$-2n$
1

Se escolhermos $n = 1$, então os fatores passam a ser

1
2
2
-2
1

O que esses fatores nos dizem é que os falantes superior e inferior devem trabalhar com metade da energia com que trabalharão os demais. E que o segundo falante de baixo para cima deverá estar com fase invertida em relação aos demais.

As correspondentes ligações elétricas podem ser feitas como nos mostram os exemplos da figura 7.10.

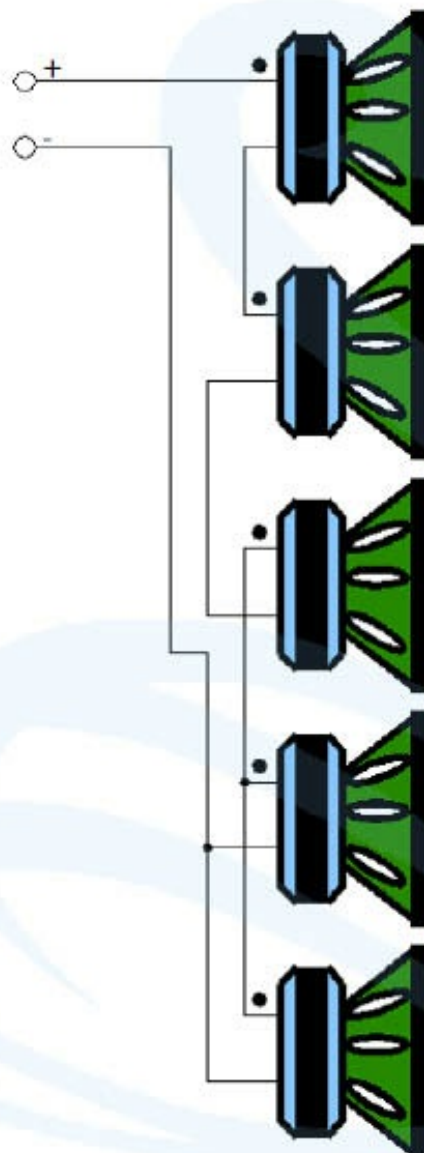


figura 7.10 ligações elétricas para pilha Bessel com 5 falantes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

Também podemos construir pilhas Bessel com sete falantes. E os fatores de ponderação seriam:

1
2
2
0
-2
2
-1

E os arranjos elétricos são feitos como nos casos anteriores. Ver figura 7.11

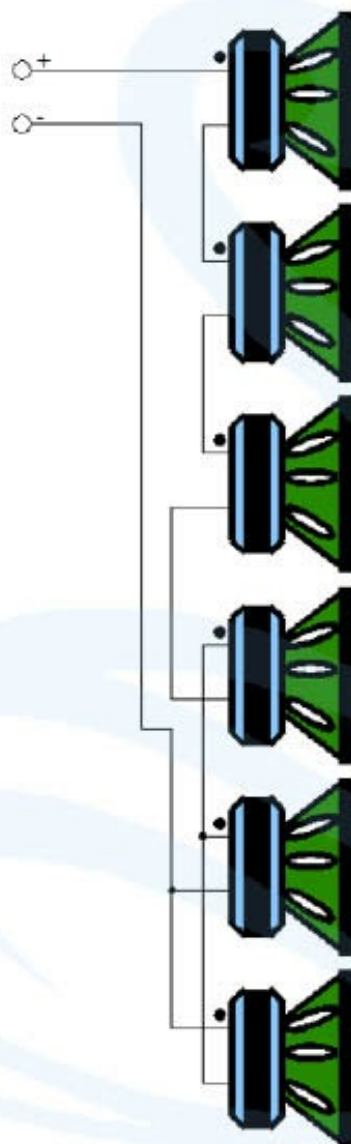


figura 7.11 ligações elétricas para pilha Bessel com 7 falantes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

7.3.2 Matrizes Bessel As matrizes Bessel podem ser configuradas para que as diretividades sejam conservadas num plano só, ou em ambos.

O arranjo da figura 7.12 nos mostra cinco pilhas verticais, cada uma com 3 falantes. Cada um dos 5 falantes dispostos horizontalmente são energizados com os mesmos fatores de ponderação da figura 7.10. Para maior facilidade de visualização, a figura 7.12 mostra também os fatores utilizados ao lado de cada falante.

Nessa configuração matricial, denominada 5x3, a diretividade no plano horizontal será essencialmente a de cada falante utilizado, pois todos os falantes trabalham com as

ponderações da função Bessel.

Também podemos observar na figura que os falantes das pilhas verticais possuem todos os mesmos fatores de ponderação.

O que significa que, no plano vertical, aplicam-se os mesmos aumentos de diretividade discutidos anteriormente no item 7.2.

Logo, quanto mais falantes forem dispostos nas pilhas verticais, mais pronunciado será o efeito de aumento de diretividade no plano vertical.

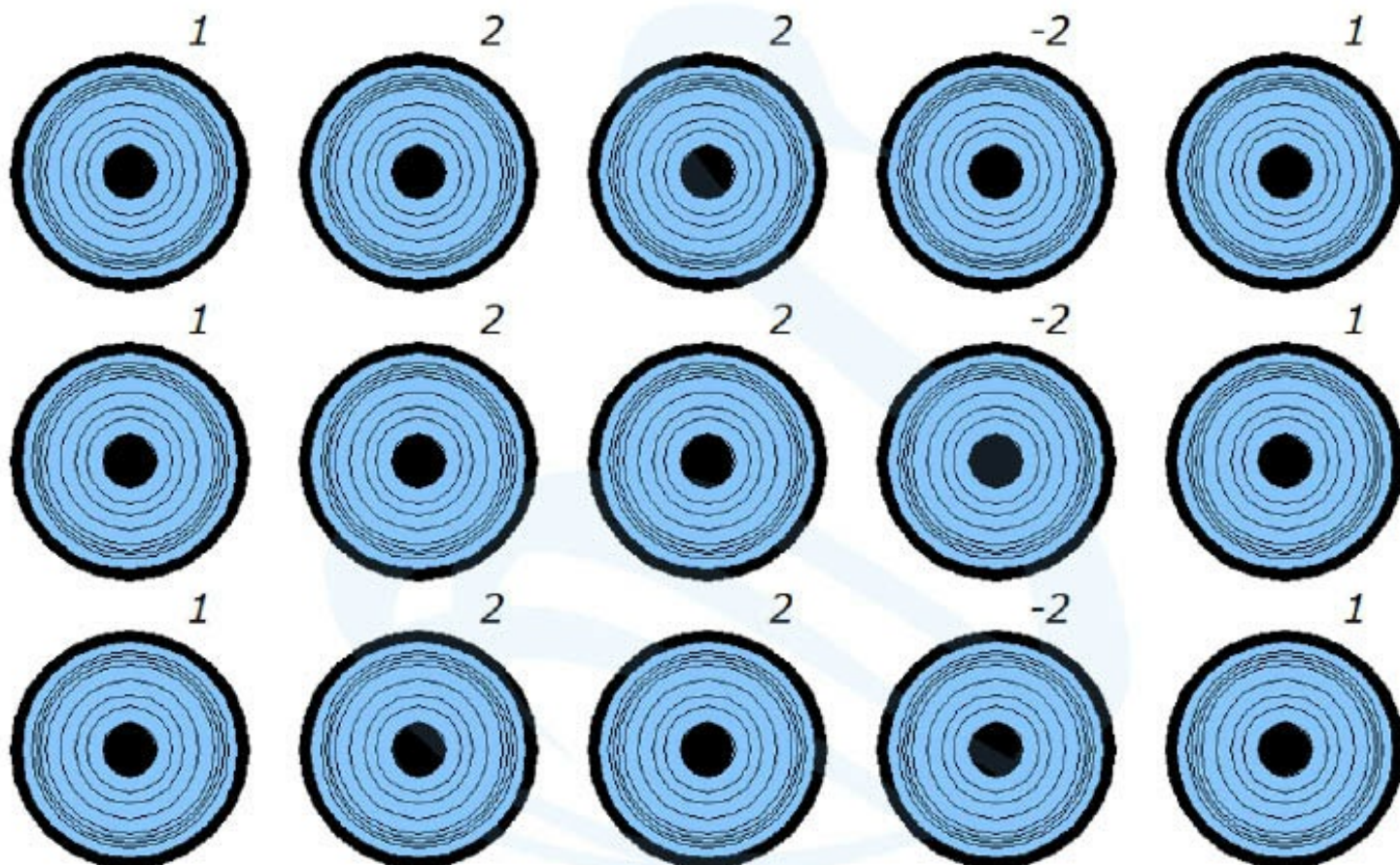


figura 7.12 arranjo de uma matriz Bessel com 3 pilhas horizontais de 5 falantes cada uma acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A configuração da figura 7.12 poderia ser feita com mais duas fileiras horizontais, e passaria a ter o arranjo da 7.13.

E vemos nesta mesma figura que os fatores de ponderação Bessel também podem ser aplicados horizontal e verticalmente, de forma que toda a matriz apresente comportamento de diretividade muito próximo do de cada falante que a compõe.

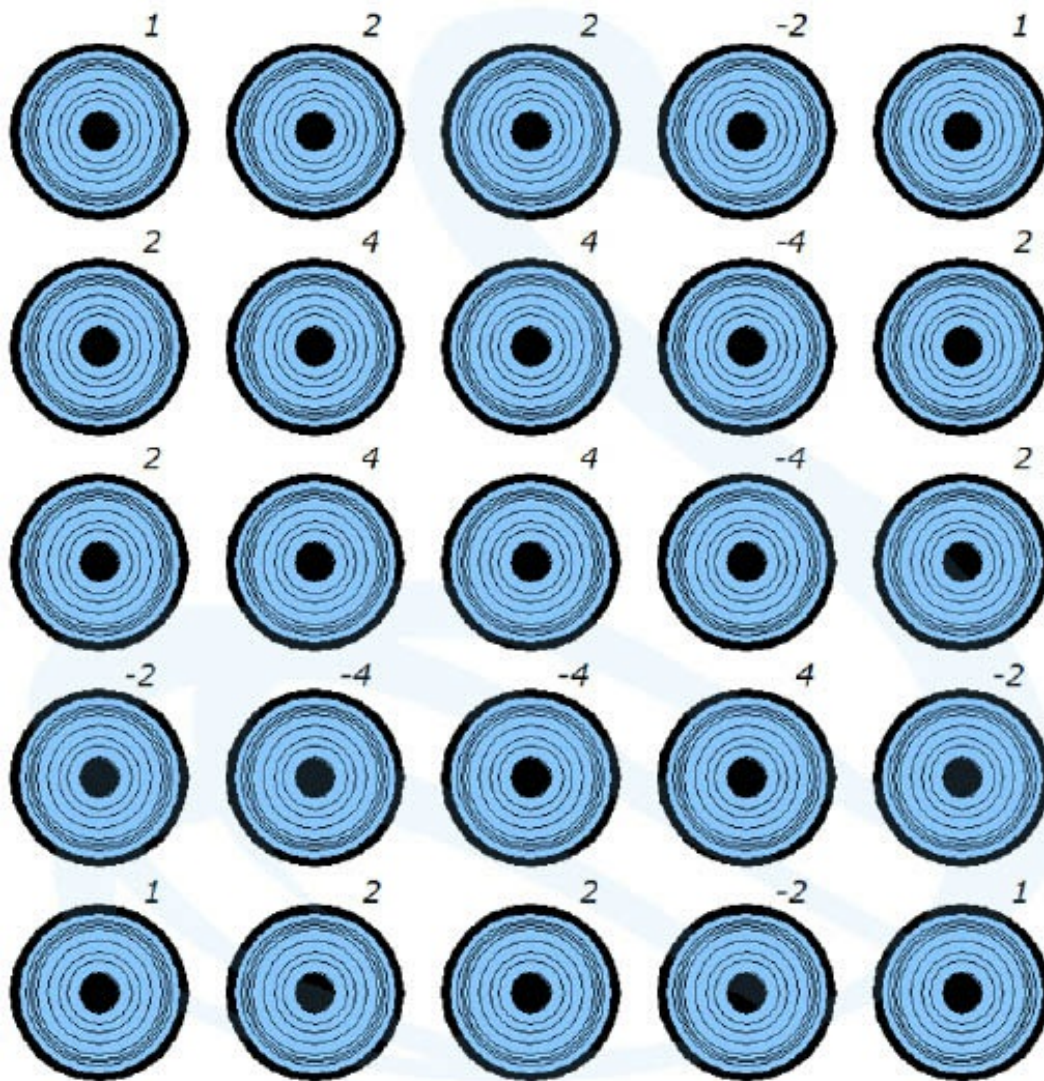


figura 7.13 fatores de ponderação para uma matriz Bessel 5x5
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.14 nos mostra uma matriz Bessel 7x 7 com seus
fatores de ponderação.

Vimos apenas alguns dos muitos exemplos que poderiam ser dados para que o caro leitor pudesse ter uma visualização conceitual mais profunda das pilhas e das matrizes Bessel.

Entretanto, para não me estender demais nesse assunto em prejuízo de outros tópicos de igual ou até maior interesse, aproveito para sugerir aos interessados a leitura da farta literatura sobre as pilhas e matrizes Bessel disponibilizadas pela Philips Corporation, a inventora e dona de muitas patentes existentes a respeito de pilhas, matrizes e arranjos Bessel, além daquela produzida por muitos outros profissionais, a exemplo do amigo Pat Brown da Syn-Aud-Con e das saborosas matérias escritas por Paul Kemble.

Também há fóruns na Internet, nos quais as trocas de informações refletem bem as experiências dos indivíduos participantes, com uma quantidade infindável de aspectos interessantes, muitos de cunho totalmente teórico, mas também muitos de cunho notoriamente prático. E, naturalmente, há os intermediários, combinando aspectos teóricos e práticos, tanto do ponto de vista construtivo quanto das próprias aplicações das pilhas e matrizes.

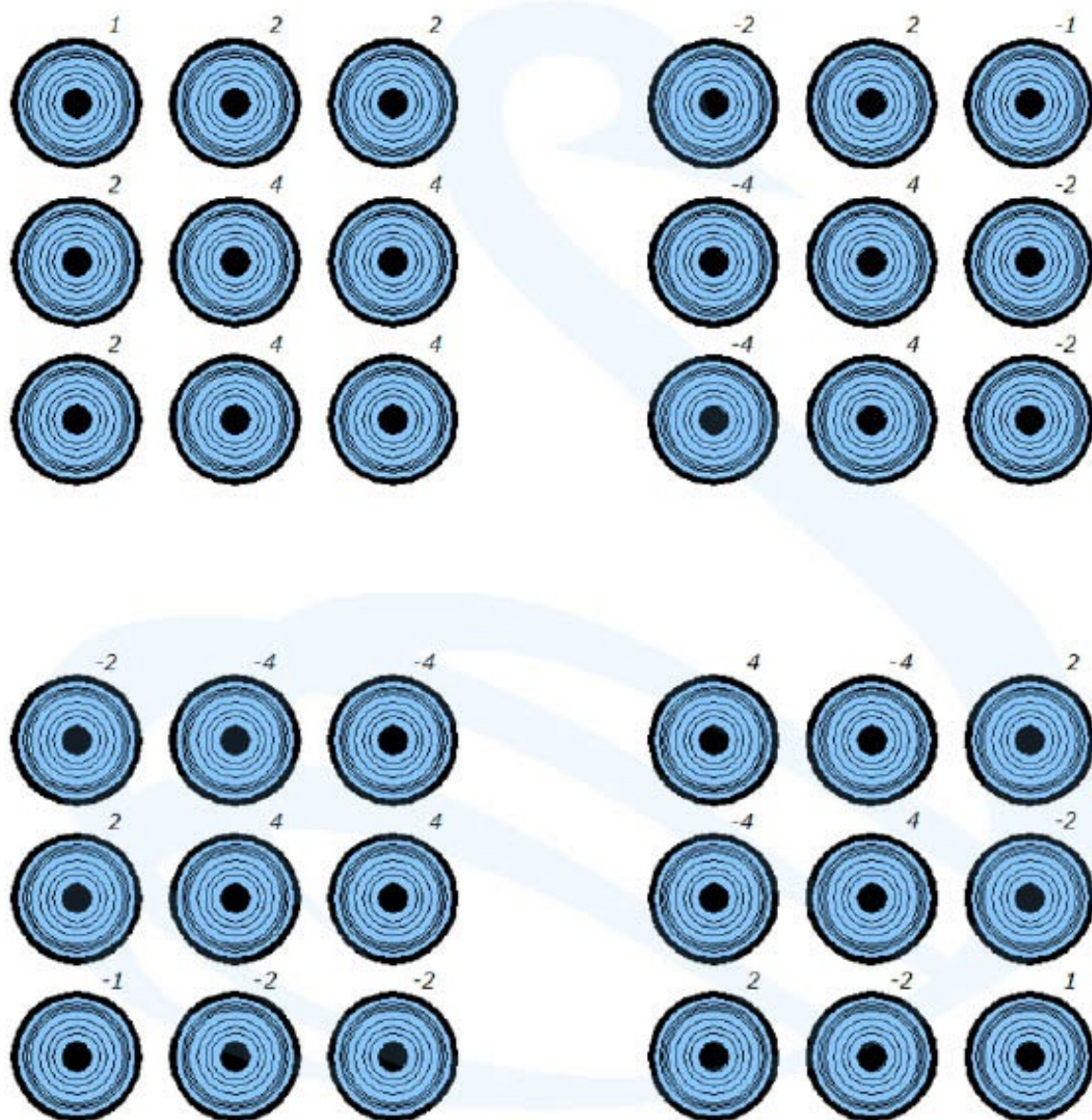


figura 7.14 fatores de ponderação para uma matriz Bessel 7x7
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

7.4 CONFERINDO DIRETIVIDADE AOS SUBWOOFERS

Há uma série de artigos e white papers que abordam o assunto diretividade dos subwoofers. Muitos desses estão fundamentos em princípios da física que governam o uso inteligente da interação de ondas acústicas como ferramenta para a obtenção de diversos padrões de radiação direcional das frequências muito baixas. Também há artigos e matérias que descrevem experiências pessoais. Por vezes ilustradas com desenhos e fórmulas emprestadas da matemática. Outras vezes são peças que mais especulam e colocam conjecturas do que apresentam raciocínios lógicos e cientificamente embasados no enorme acervo que pesquisadores e cientistas do passado nos deixaram como um extraordinário legado.

Há, ainda, muito material escrito abordando apenas superficialmente o assunto. Entretanto, sem oferecer bases conclusivas para que o leitor possa realmente colher benefícios práticos a seu favor.

Após ler praticamente todo o material disponível, incluindo publicações mais elaboradas de muitos fabricantes, além do que consta de vários livros especializados, concluí que fica um tanto ou quanto difícil para o leitor não técnico chegar a um desfecho aceitável. Porque não há uma só publicação que varra o assunto de A a Z, oferecendo uma visão panorâmica de tudo e, de quebra, possibilitando que o leitor consiga compreender as vantagens e desvantagens de cada uma das técnicas disponíveis.

Eis porque retomo um tema que já havia abordado na Bíblia do Som, onde menciono os subwoofers cardióide e mostro alguns de seus padrões polares na figura 7.21 (isto, na Bíblia do Som e não na Nova Bíblia do Som), para dar-lhe, agora, uma nova dimensão.

Até porque nesses últimos anos tenho recebido uma enxurrada de consultas a respeito, bem como muitas solicitações para detalhar muito mais esse mesmo tema, numa eventual futura edição da Bíblia do Som. Que é precisamente o trabalho que você está lendo.

Em meus cursos regulares de áudio profissional muitos alunos também insistem nessas solicitações. O que, para mim, identifica claramente a necessidade de mercado, de um lado, e impõe minha obrigação de atender a esses reclamos, de outro.

Se você não sabe porque há tanto interesse nesse assunto, é preciso entrar nisso antes de prosseguir.

Nos anos 60 surgiram os primeiros subwoofers. Muitos deles divulgados à exaustão na época. Razão pela qual esses produtos despertaram interesse geral avassalador. Os primeiros que usaram sistematicamente esses falantes especializados na reprodução de frequências muito baixas foram os cinemas. Dado o alcance social e a abrangência dessa modalidade de entretenimento, os subwoofers se popularizaram rapidamente em todo o mundo. Assim, esses

falantes deixaram de ser um privilégio dos cinemas para ser parte integrante de sistemas de reforço de som de quaisquer portes. O início dos anos 70 testemunhou um crescimento vertiginoso do uso dos subwoofers. Porém, enquanto o novo nicho do mercado adquiria velocidade e força motriz própria, logo se tornou evidente que nem tudo era um mar de rosas.

Com efeito, alguns problemas se fizeram sentir fustigando técnicos, engenheiros e operadores de som. Especialmente onde havia um palco no qual apresentavam bandas e grupos musicais com muitos microfones simultaneamente abertos.

Senão, vejamos. Os subwoofers convencionais geram campos de som reverberantes de natureza muito difusa. O que tende a produzir muito mais modos acústicos do que o bom senso técnico pode aceitar. De um ponto de vista estritamente de engenharia de áudio, essa situação equivale a reduzir a relação entre campo direto e campo reverberante a tal ponto que a qualidade da reprodução das frequências na parte inferior do espectro de áudio fica muito comprometida.

Além disso, verificou-se na prática que a energia produzida pelos subwoofers nos palcos era sempre muito problemática porque acarretava significativa redução no ganho antes da realimentação. Em razão disso a microfonia estava permanentemente de prontidão para produzir seus efeitos maléficos. Era o inferno astral de praticamente todos os operadores de som. Que, infelizmente, não tinham o antídoto para esse novo veneno recém chegado.

Para completar essa tragédia sônica, a energia descomunal gerada pelos subwoofers convencionais nas regiões do palco comprometia irremediavelmente a qualidade de qualquer monitoração para os músicos. Outro lado do inferno astral dos operadores, agora respingando nos artistas, instrumentistas e vocalistas e, por vezes, atrapalhando os procedimentos das bandas e grupos musicais.

Tal situação parece confirmar com eloquência o ditado que toda moeda tem duas faces.

Eis porque nessa época praticamente todos os especialistas procuravam de forma frenética um modo de tornar os subwoofers mais direcionais. Entre as maneiras imaginadas estavam o uso de refletores parabólicos, como se fazia com os microfones, a ajuda de lentes acústicas especialmente desenhadas e tantos outros.

Isso posto, vou relatar um fato que ocorreu comigo.

Na mesma época em que surgiram os subwoofers, isto é, no início dos anos 70, eu projetava e instalava sistemas de som para casas noturnas. Numa delas resolvi usar subwoofers. Durante a montagem empilhei dois gabinetes, um acima do outro, como na figura 15.

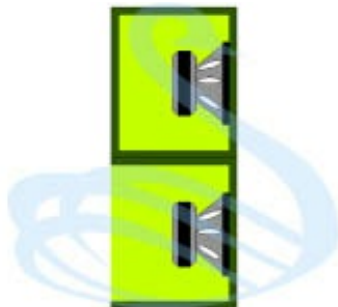


figura 7.15 dois gabinetes empilhados, o de baixo sem sua tampa traseira acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Lá pelas tantas reparei que o sub inferior estava com os conectores esfacelados.

Imediatamente removi a tampa traseira do gabinete e reinstalei novos conectores. A seguir, refiz toda a fiação interna dos conectores até os falantes. Como tinha que testar o reparo, mantive a tampa traseira removida. Durante os testes, inicialmente acionei a caixa inferior. Depois, as duas simultaneamente. Claro, tinha que ouvir o resultado que iria obter.

Andando pela pista de dança e pela ala onde estavam as mesas, percebi imediatamente que o campo de som se afastava muito do que se pode chamar de homogêneo. Como eu esperava que fosse. Até porque os dois subwoofers deveriam exibir comportamento bem próximo do omnidirecional. Como a montagem do sistema tinha que caminhar, temporariamente deixei essa questão no ar e parti para finalizar a instalação.

A noite, em minha casa, fui procurar uma fonte fidedigna para me informar. Minha primeira ideia foi procurar um artigo técnico numa das Edições do JAES – o Jornal da Audio Engineering Society. Até que no volume 15, número 4 do ano de 1967, achei o artigo de título “Directional Microphones” de autoria do cientista Harry F. Olson. Este é um artigo verdadeiramente monumental e de rara acuidade. Li todo o texto com especial interesse nas técnicas empregadas para conferir diretividade aos microfones, enquanto, nos recônditos de minha mente eu já procurava transportar tudo do universo dos microfones para o universo dos subwoofers. Depois de dormir, bem cedinho consultei vários outros trabalhos e livros sobre o mesmo tema.

Só para que você saiba, posteriormente, em 1972, Olson escreveu outro artigo no JAES, agora denominado “Gradient Loudspeakers”.

Noite seguinte, de volta à tal casa noturna, liguei o sistema acionando apenas os subwoofers que queria ouvir. Foi quando me dei conta que, por um desses acasos da vida, os dois subwoofers estavam formando uma combinação de figura de oito, o de baixo, com omnidirecional, o de cima. Ora, essa combinação tem o potencial de produzir padrão polar de radiação muito próximo do cardióide.

Se você tem dúvidas sobre isso, caro leitor, peço sua especial gentileza no sentido de voltar ao capítulo 4, tópicos 4.2.1.3 e 4.2.1.4 com a finalidade de rever o processo e parte das técnicas que possibilitam conferir praticamente quaisquer padrões de diretividade aos microfones.

Começando a me interessar mais pelos motivos técnicos que estavam por trás daquela coincidência e dos resultados que verifiquei na prática, procurei avaliar mais detidamente o padrão de captação na casa noturna. Era uma avaliação que estava fazendo sem nenhum instrumento, exceto meus próprios ouvidos. Mas era tudo muito revelador.

Os níveis de pressão sonora na frente do arranjo eram uma coisa. Outra, totalmente diferente, acontecia atrás dos subwoofers. Uma diferença realmente notável sem necessidade de utilizar qualquer instrumento além dos ouvidos. Claro que procurei tirar vantagem daquele fato. Dirigi o lado que produzia pressão mais elevada para a pista de dança e o outro para onde ficavam as mesas, imaginando que aquilo ofereceria muito mais conforto acústico para quem estivesse sentado, querendo conversar mais do que dançar.

Desse momento em diante resolvi estudar muito essa questão para que os resultados não viessem mais por força de coincidências, mas sim como função da aplicação das técnicas pertinentes à luz das necessidades de cada caso.

De lá para cá tenho incluído essas técnicas peculiares dos subwoofers em vários de meus projetos, muitos dos quais foram instalados. Ao mesmo tempo, continuo fazendo experiências a respeito, especialmente quando tenho uma boa plateia que se dispões a servir como painel de avaliação referencial, o que ocorre durante meus cursos regulares de acústica e de áudio profissional.

7.4.1 Linhas Broadside A definição clássica de Linha Broadside é qualquer arranjo de subwoofers organizados em pilhas verticais com o objetivo de diminuir o ângulo de cobertura vertical. Embora não condizente com o nome, também entra nessa classificação qualquer organização de subwoofers em filas horizontais, com a intenção de reduzir o ângulo de cobertura horizontal. Podemos entender que esse último arranjo é o arranjo anterior rotacionado em 90°.

A figura 7.16 mostra um exemplo de pilha (vertical) e outro de fila (horizontal).

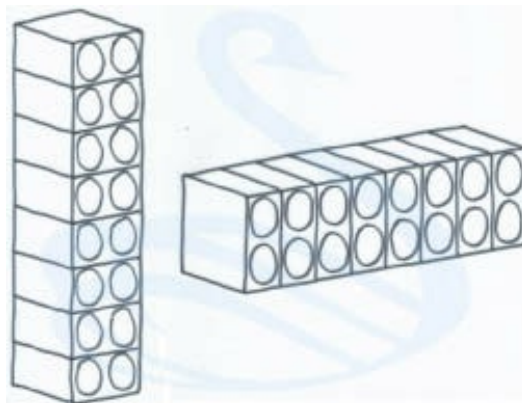


figura 7.16 pilha vertical à esquerda e pilha horizontal à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na parte deste livro em que discutimos projetos, escrevi que uma das configurações de sistemas de reforço de som preferidas pelos consultores é a fonte única. Isso é verdadeiro. Mas como todas as regras têm exceção, a exceção aqui podem ser os subwoofers.

Pense numa fonte única de subwoofers. Digamos, apenas dois subwoofers empilhados verticalmente e dispostos na parte central do espaço. Esse cluster fica bem elevado acima do nível do palco, aproximadamente sobre a área do proscênio. Agora nosso interesse é ver como se distribui a energia produzida por esse arranjo simples, não para a plateia como também para o próprio palco.

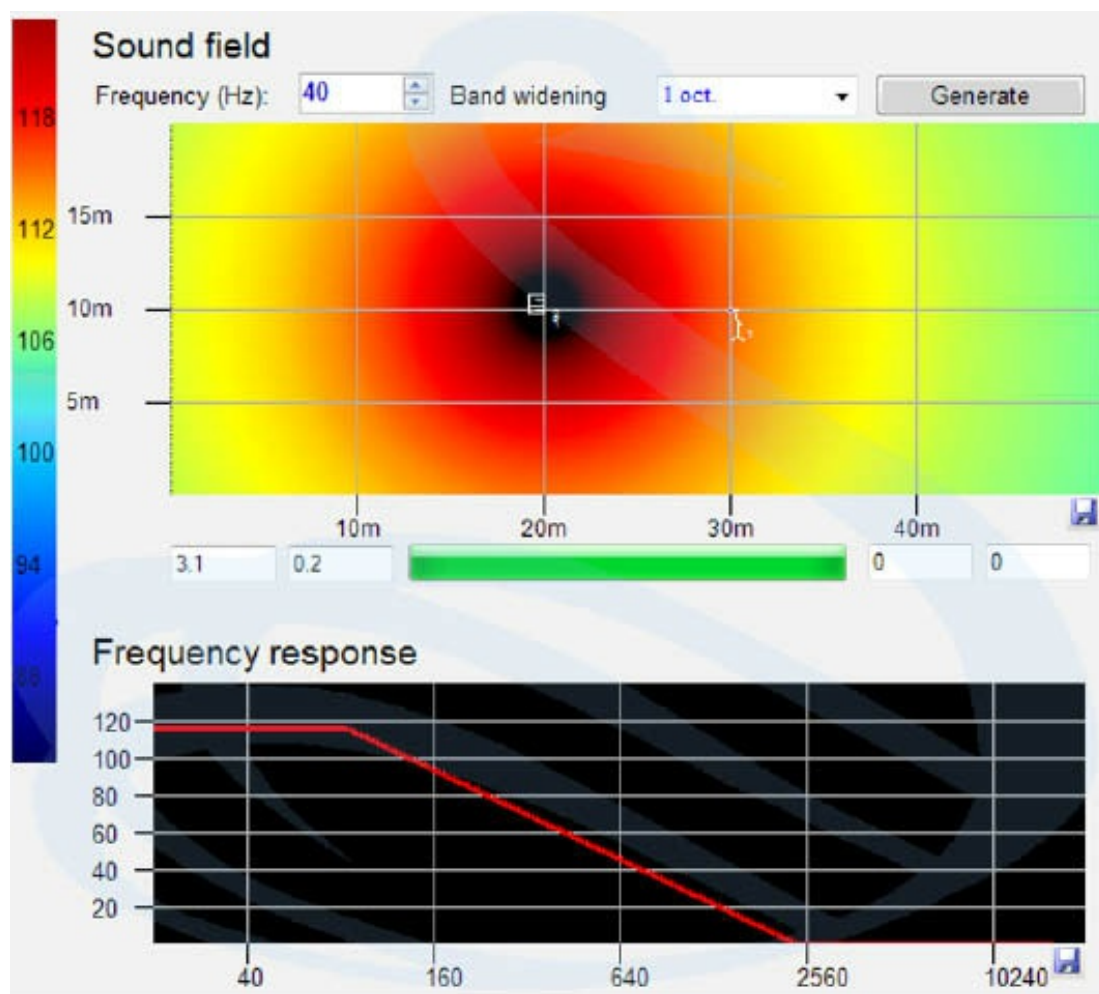


figura 7.17 fatores de ponderação para uma matriz Bessel 7x7

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.17 mostra os resultados desse arranjo, com o gabinete inferior instalado a 9,5 metros de altura em relação ao nível do palco e o superior imediatamente acima deste. Na escala do eixo horizontal, de 0 até 20 metros está a região do palco. Os subwoofers estão precisamente na marca 20,0 metros. A região da plateia se estende de 20 a 50 metros.

Fiz essa simulação para a frequência de 40 Hz, sendo a largura de banda de uma oitava plena. O que me parece bem representativo para subwoofers.

A parte inferior da figura exhibe a resposta de frequência da pilha, submetida a processamento de corte na frequência de 80 Hz. O microfone de teste foi localizado 10,0 metros na frente da pilha vertical. Mais precisamente, em seu eixo principal, que é o horizontal.

Basta olhar para a parte superior da figura 7.17 que três particularidades saltam às vistas imediatamente.

Primeiro, o campo de som produzido no palco é da mesma ordem de grandeza que o produzido na plateia. O que é muito problemático como antecipei poucas linhas atrás.

A segunda particularidade, tão problemática quanto a primeira, é que a diferença de nível de pressão sonora nas primeiras filas da plateia e nas últimas é muito grande.

Finalmente, a terceira particularidade muito problemática é que a energia acaba sendo distribuída de forma indiscriminada por todo o espaço. O que resulta diretamente do comportamento omnidirecional do arranjo. O que também antecipei linhas acima, quando mencionei que há severa redução no ganho antes da realimentação. Disse ainda que isso era uma forma de reduzir a relação campo direto/campo reverberante. A figura 7.17 mostra de maneira magistral esse lado da questão.

Antes de entrar em mais detalhes na questão da diretividade dos subwoofers, quero lembrar que fontes de som são praticamente omnidirecionais enquanto suas dimensões são inferiores ao comprimento de onda da frequência reproduzida. Quando as dimensões da fonte passam a ser da mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda da frequência radiada a fonte começa a adquirir alguma diretividade. Inicialmente, de maneira modesta. Mas aumentando sempre à medida que as dimensões da fonte vão se tornando progressivamente maiores em relação ao comprimento de onda da frequência radiada.

Vejamos isso por uma perspectiva bem prática. A faixa operacional típica de um subwoofer profissional é da ordem de 40 Hz a 100 Hz. Calculando os respectivos comprimentos de onda: $\lambda_{40\text{ Hz}} = 344/40 = 8,6$ metros $\lambda_{110\text{ Hz}} = 344/100 = 3,44$ metros Essas contas nos autorizam prever que os subwoofers convencionais oferecidos no mercado profissional se comportam como fontes omnidirecionais. Para conferir esse prognóstico vejamos algumas especificações técnicas de subwoofers oficiais publicadas por fabricantes bem conhecidos na tabela 7.1: tabela 7.1

FABRICANTE	MODELO	DRIVERS	COBERTURA ACÚSTICA
Bosch ElectroVoice	EVF-1181S	1 unidade 18"	omnidirecional
Bose	RMS215	1 unidade 15"	omnidirecional abaixo de 100 Hz
EAW	SBK250	2 unidades 15"	360° horizontal x 360° vertical
Meyer Sound	700-HP	2 unidades 18"	360° uma só unidade

A informação da cobertura acústica constante da coluna da direita da tabela acima é a especificação técnica nominal publicada pelos fabricantes, sem retoques.

É preciso dizer que, mesmo com especificações nominais de omnidiretividade, isso não tem caráter absoluto. Com efeito, todos esses subwoofers, bem como os demais oferecidos no mercado, apresentam um mínimo de diretividade. Algo tipicamente como 0,5 a 2,0 dB de atenuação na parte traseira em relação à parte frontal.

No capítulo 4 discutimos cornetas e sua diretividade. Bem como caixas acústicas cornetadas, construídas com a finalidade de apresentar alguma diretividade. Falamos de diretividade constante. Discorreremos sobre guias de onda e entramos nos aspectos de

cancelamento de ondas de falantes funcionado ao ar livre. Falamos também de subwoofers e de sistemas bandpass. Entramos no tema das colunas line source e daí emendamos para as colunas tipo “beam steering”, equipadas com DSP e amplificação própria.

Mesmo sem entrar em detalhes com mais profundidade, no capítulo 4 vimos que as colunas line source convencionais têm a propriedade de estreitar a cobertura vertical de forma mais ou menos proporcional à quantidade de falantes empilhados. Esta é a essência das Linhas Broadside.

Evidentemente, os mesmos princípios da física envolvidos nesse processo também são aplicáveis a falantes de 4, 5 ou 6 polegadas. A rigor, esses princípios continuam sendo verdadeiros para falantes de quaisquer tamanhos. Claro que guardadas as proporções relativas aos comprimentos de onda envolvidos.

Veja então a figura 7.18. Lá estão as simulações de distribuição de energia e de diretividade de pilhas verticais com dois, com quatro, com oito e com dezesseis subwoofers.

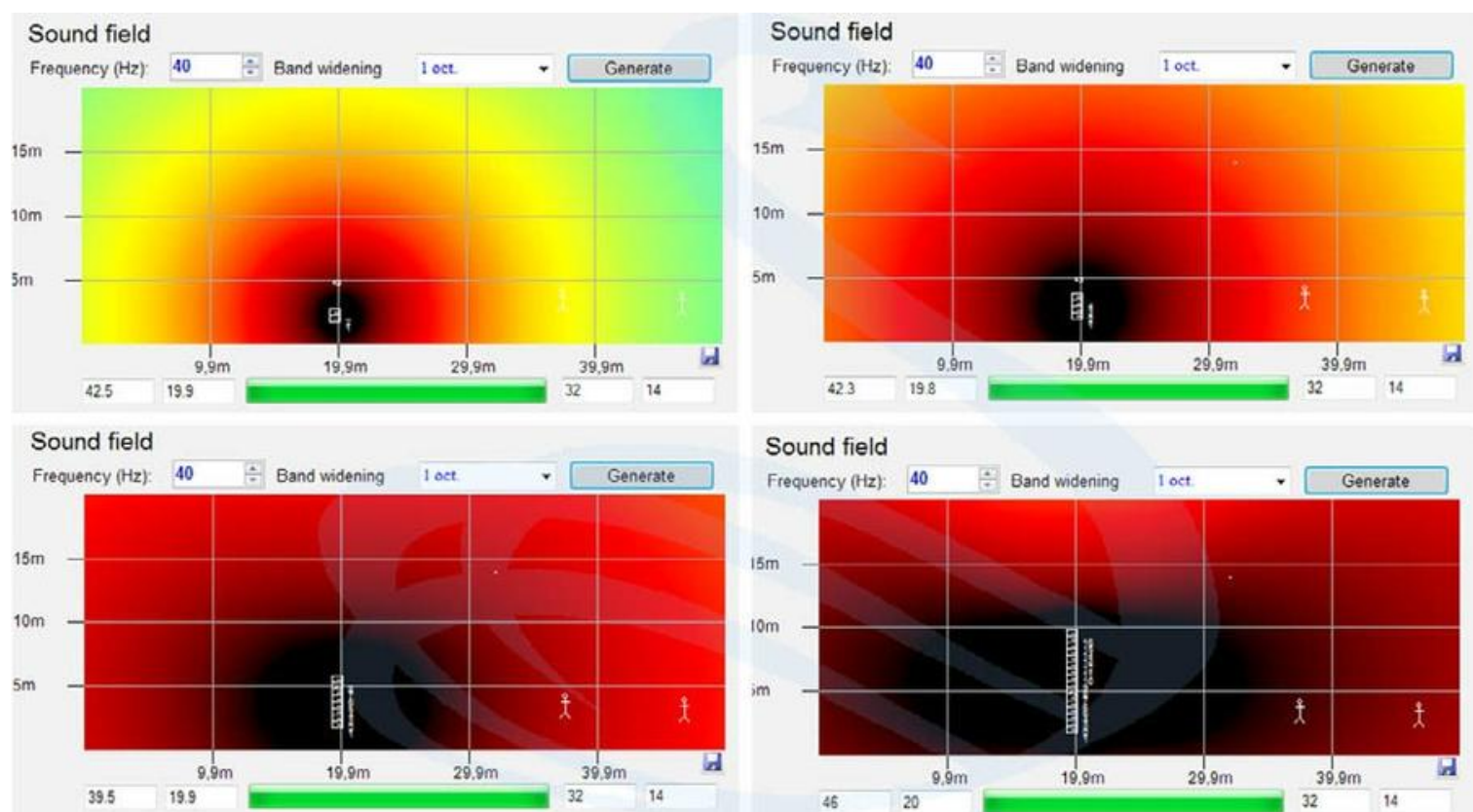


figura 7.18 acima à esquerda: pilha com 2 subs, acima à direita: pilha com 4 subs, em baixo à esquerda: pilha com 8 subs e em baixo à direita: pilha com 16 subs acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nota-se claramente que quanto mais subwoofers há na pilha, mais ela é diretiva. Ou seja, maior é o controle da cobertura vertical. Como já sabíamos e esperávamos. Além disso, fica evidente, também, o aumento da pressão sonora à medida que aumenta a quantidade de subwoofers empilhados.

Parte desse aumento deve-se ao fato de, a cada duplicação da quantidade de falantes há também duplicação da potência elétrica aplicada à pilha. Que, evidentemente, acaba sendo convertida em energia acústica. Outrossim, parte desse aumento de pressão sonora se justifica pelo fato de haver progressivamente mais concentração de energia na direção do eixo principal da pilha. Que no caso dessas figuras encontra-se no plano horizontal. É só conferir nos mapas das figuras.

Por essa razão, por muitos anos as Linhas Broadside na forma de empilhamento vertical de subwoofers para situações de clusters suspensos, e de filas horizontais no caso de clusters

colocados ao nível do piso, foi uma das tentativas sempre utilizadas na prática como fórmula para incremento de diretividade. Porém, sem resolver os problemas que as figuras 7.17 e 7.18 evidenciam.

Além dos arranjos Linhas Broadside na forma de pilhas verticais e filas horizontais discutidas até este ponto, os arranjos das figuras 7.19, 7.20, 7.21 e 7.22 também são formas de arranjar os clusters para efeito de obtenção dos efeitos das Linhas Broadside. Denominados pilha C, fila horizontal em linha, fila em leque e fila em escada, respectivamente.

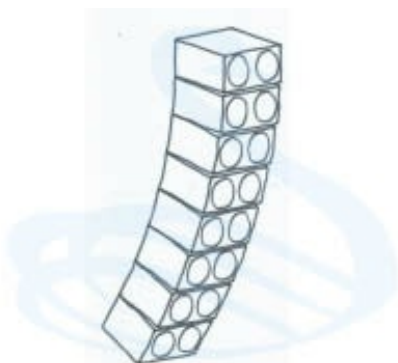


figura 7.19 pilha C – arranjo Linha Broadside acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

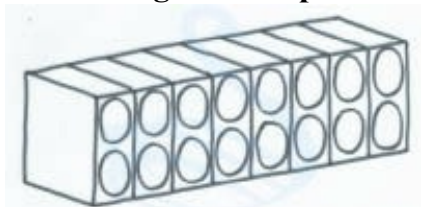


figura 7.20 fila horizontal em linha – arranjo Linha Broadside acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 7.21 fila horizontal em leque – arranjo Linha Broadside acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

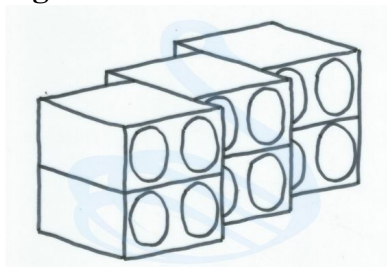


figura 7.22 fila horizontal em escada – arranjo Linha Broadside acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

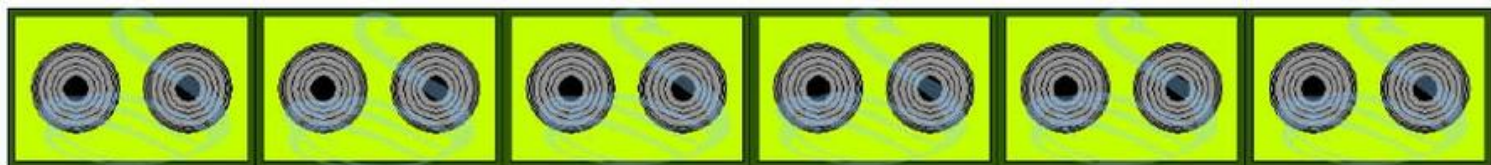


figura 7.23 configuração popular de subwoofers, usualmente encontrada abaixo de palcos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.23 mostra uma configuração muito comum de subwoofers, usualmente instalada abaixo do palco, numa sequência em linha horizontal com um gabinete encostado no outro. Os resultados acústicos dessa montagem são como mostra a figura 7.24.

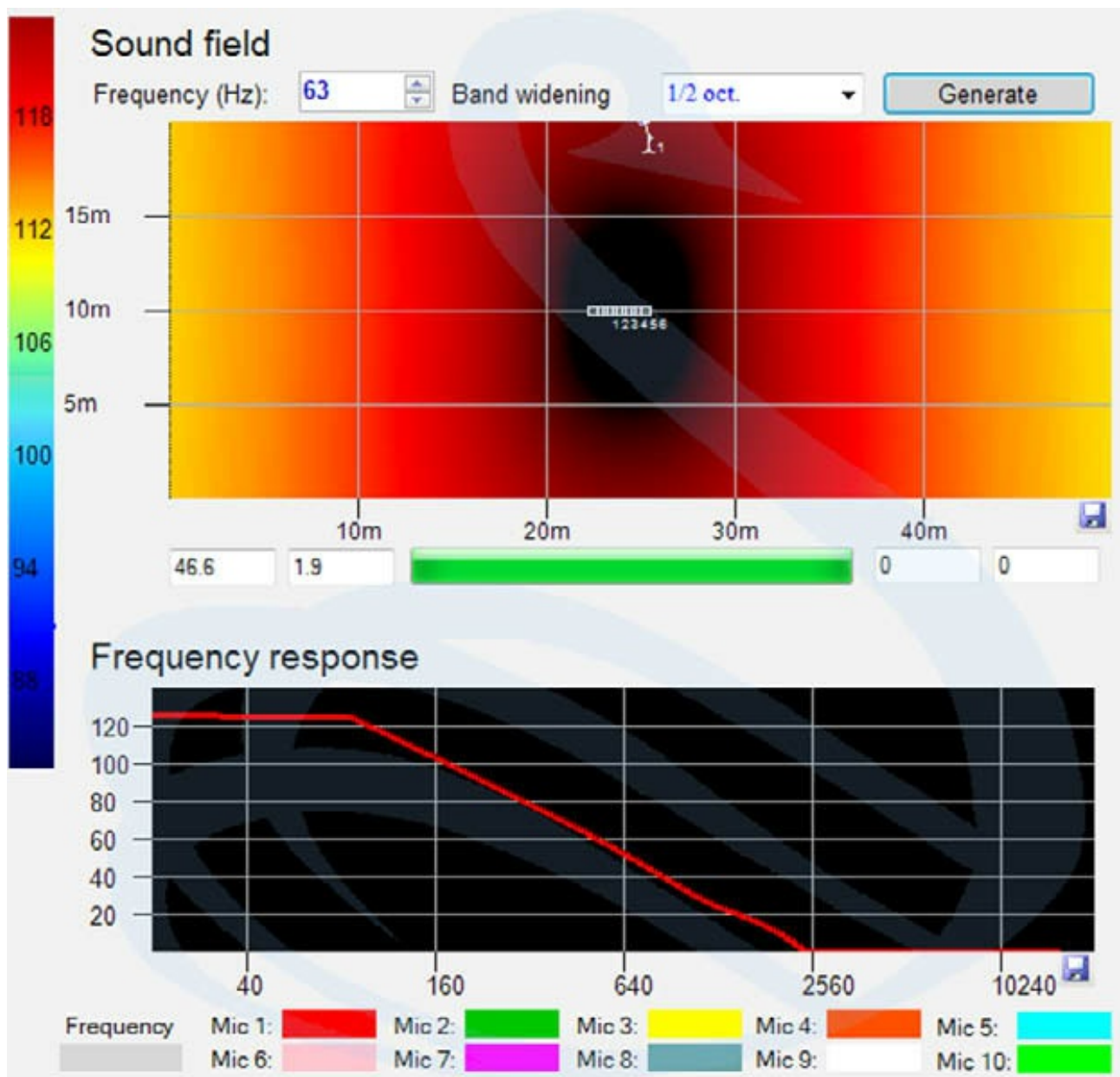


figura 7.24 resultados acústicos da configuração da figura 7.23

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A frequência de testes de trabalho é 63 Hz com banda de $\frac{1}{2}$ oitava. O microfone de teste foi localizado cerca de 10 metros na frente do arranjo, pouco afastado da linha medial.

A figura 7.25 mostra o mesmo arranjo da figura 7.23, apenas que com espaçamento da distância “D” entre os subwoofers.



figura 7.25 configuração da figura 7.23, agora com espaçamento “D” entre os subwoofers acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 7.26, 7.27, 7.28 e 7.29 mostram os resultados acústicos desse arranjo para as distâncias $D = 0,5\text{m}$, $D = 1,0\text{m}$, $D = 3,0\text{m}$ e $D = 6,0\text{m}$, respectivamente.

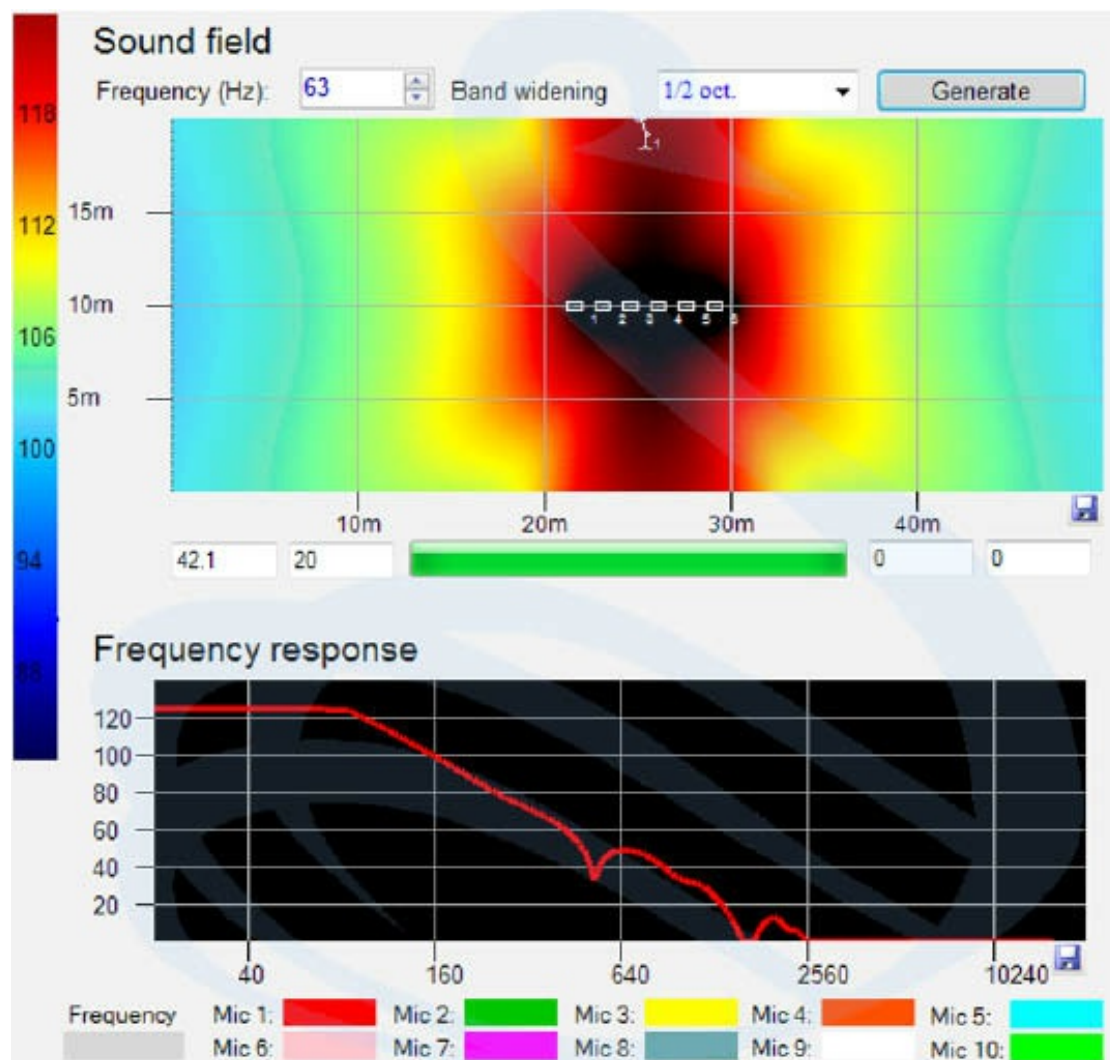


figura 7.26 resultados acústicos da configuração da figura 7.25 com $D=0,5\text{m}$ acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

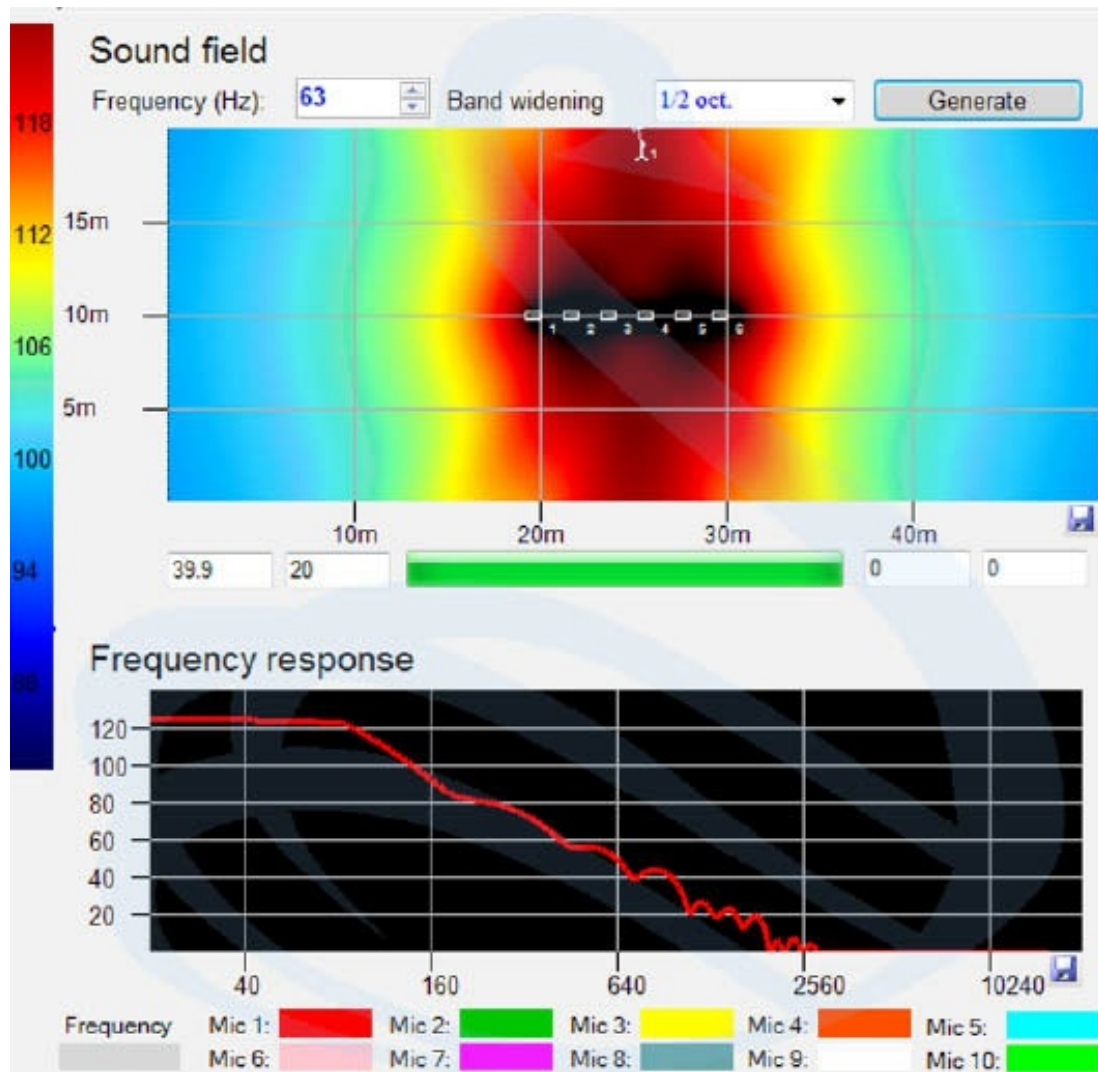


figura 7.27 resultados acústicos da configuração da figura 7.25 com $D=1,0\text{m}$ acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

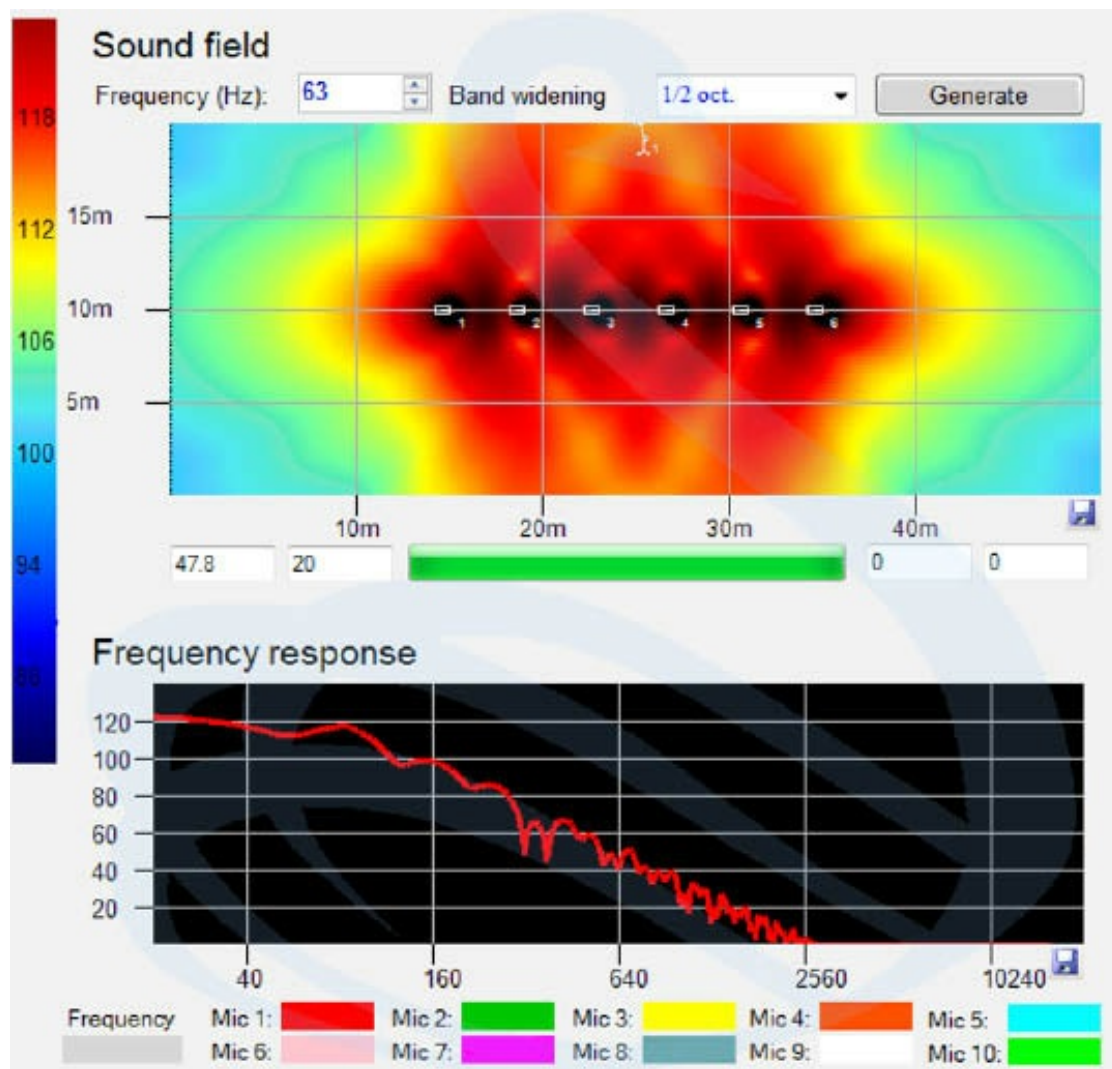


figura 7.28 resultados acústicos da configuração da figura 7.25 com $D=3,0\text{m}$ acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

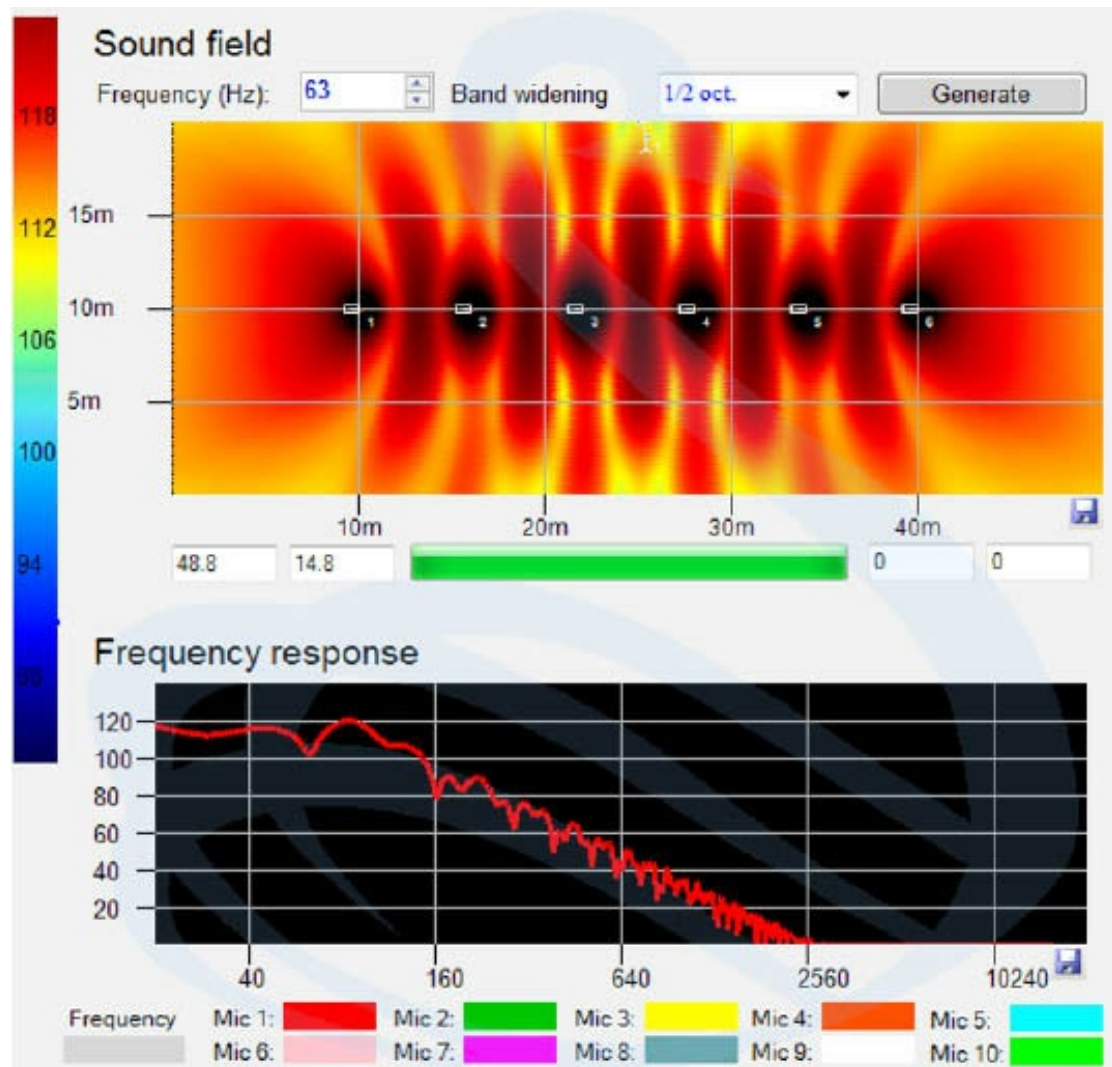


figura 7.29 resultados acústicos da configuração da figura 7.25 com $D=6,0\text{m}$ acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.30 mostra um arranjo em leque, ainda com 6 subwoofers. A angulação entre gabinetes vizinhos é 12° .

A figura 7.31 apresenta o comportamento acústico do arranjo, ainda com frequência de testes de trabalho de 63 Hz e banda de $\frac{1}{2}$ oitava. O microfone está colocado 10 metros na frente do arranjo.



figura 7.30 arranjo de 6 subwoofers em leque, angulações relativas 12° acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

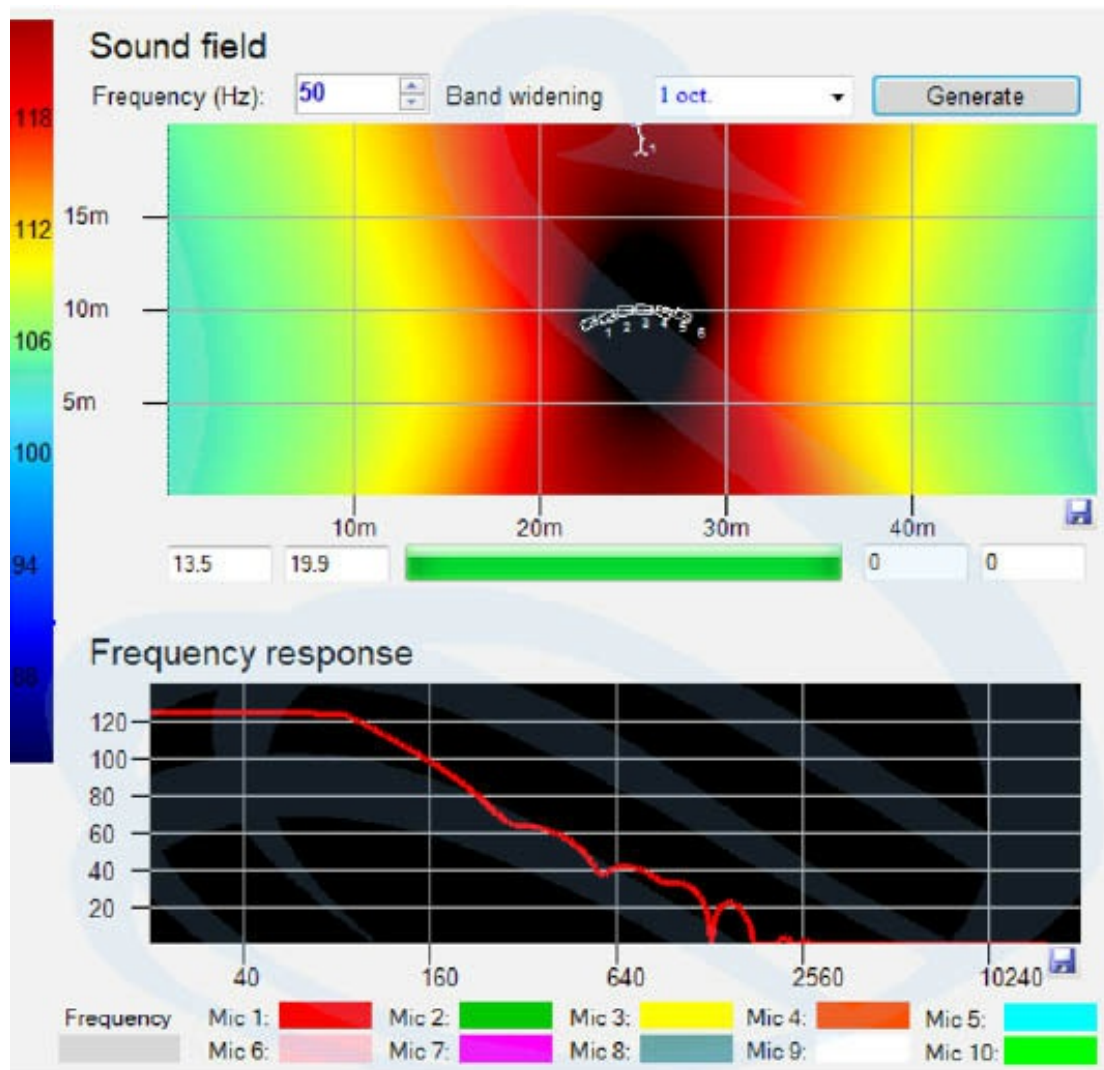


figura 7.31 resultados acústicos da configuração da figura 7.30

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.32 mostra um arranjo em escada vertical, com a simulação de campo acústico e de resposta de frequência ilustradas na figura 7.33.

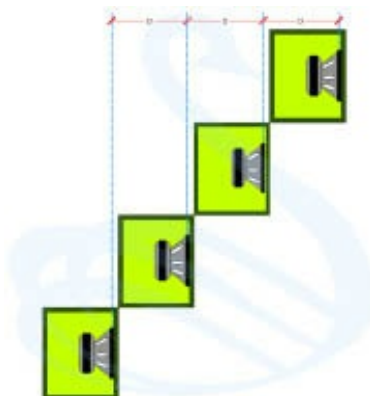


figura 7.32 subwoofers arranjados em escada vertical acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

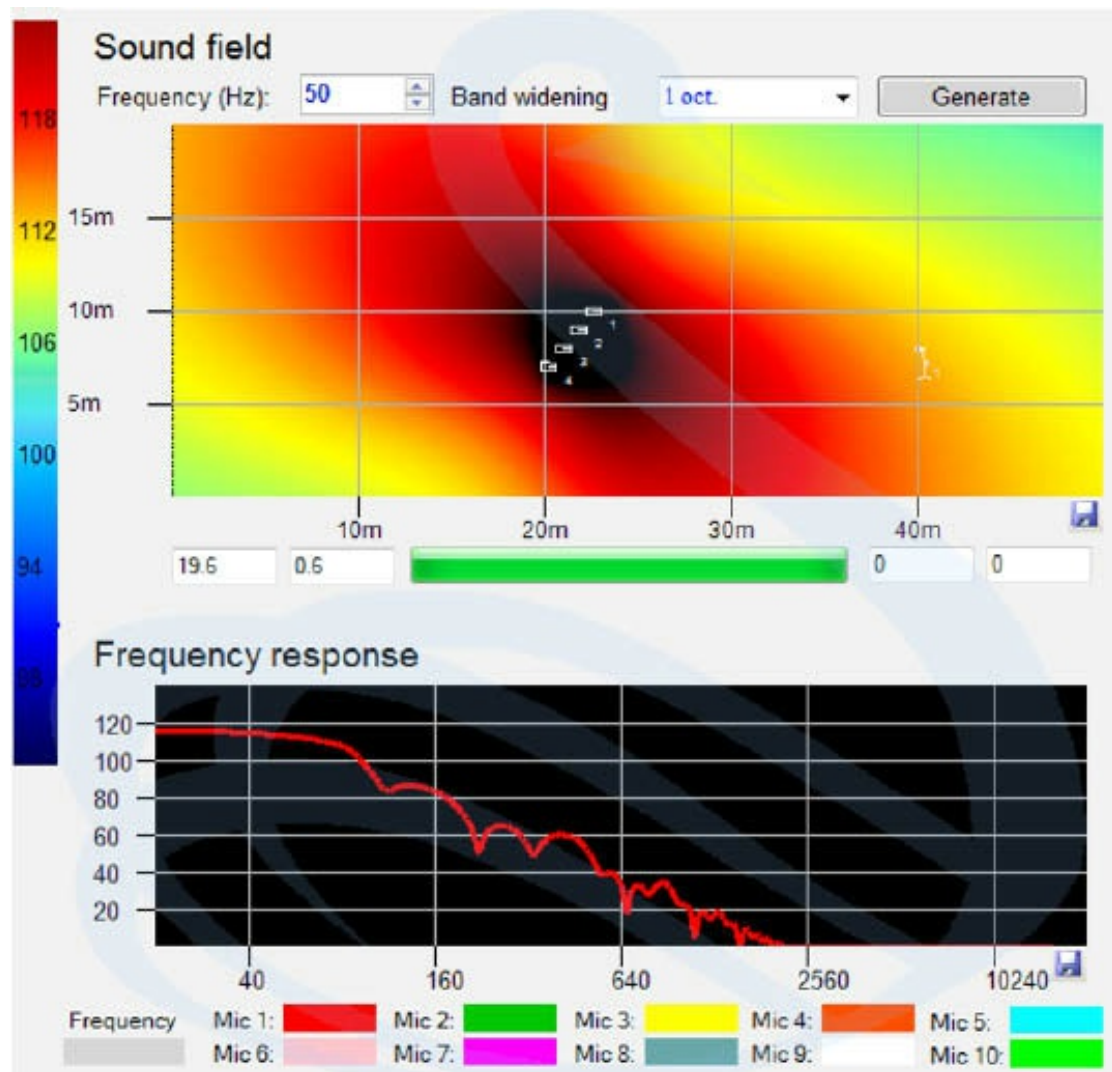


figura 7.33 resultados acústicos da configuração da figura 7.32

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na simulação da figura 7.33 a frequência escolhido foi 50 Hz e banda operacional de trabalho foi de uma oitava plena. O microfone de teste para levantamento da resposta de frequência do arranjo está a sua frente, na linha medial, com afastamento aproximado de 17 metros.

Observe como o formato em escada dirige o feixe para baixo na frente do arranjo e para cima, atrás dele. Eis uma forma elegante de manipular não a diretividade do arranjo, mas o seu direcionamento.

7.4.2 Formatação de Feixes (Beamforming) Formatação de Feixes é o nome dado ao conjunto de técnicas que desenvolvidas para induzir mais diretividade aos agrupamentos de subwoofers, via utilização de processamento eletrônico de sinais. Essas técnicas podem ser usadas em combinação com as técnicas empregadas nas Linhas Broadside para incrementar ainda mais a diretividade dos clusters e, invariavelmente, de forma bem controlada.

Tais técnicas são aplicáveis a pilhas ou filas relativamente grandes de forma a possibilitar o direcionamento do eixo principal da pilha ou da fila e também para definir o ângulo de cobertura vertical ou horizontal, respectivamente para pilhas verticais e filas horizontais.

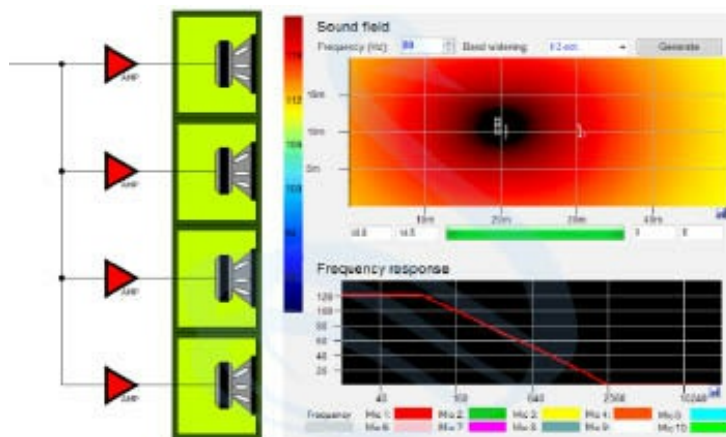


figura 7.34 resultados acústicos da pilha de 4 subwoofers sem formação de feixes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

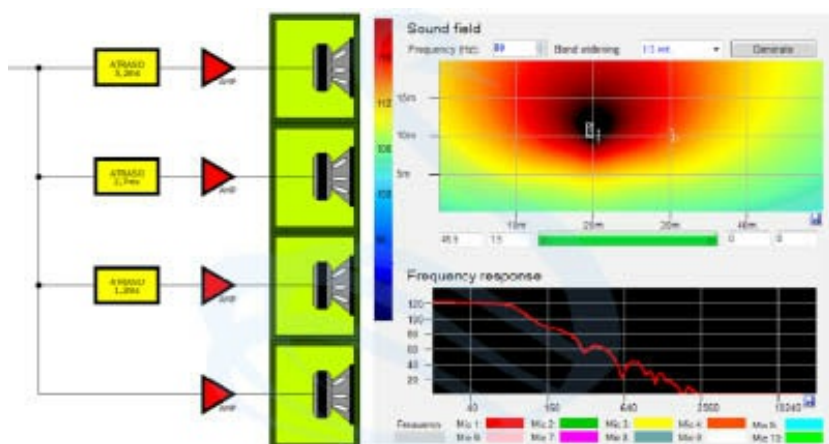


figura 7.35 resultados acústicos da pilha de 4 subwoofers com formação de feixes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A diferença fundamental entre as Linhas Broadside e a Formação de Feixes é que nesta última são empregados recursos eletrônicos, a exemplo de atrasos de sinais, de rotações de fase, de diferenças de nível de energia entregue aos subwoofers, etc.

As figuras 7.34 e 7.35 procuram mostrar a diferença real de uma mesma pilha sem e com Formação de Feixes. Em ambas são simuladas pilhas verticais com 4 subwoofers. A frequência de simulação é 80 Hz com largura de banda de $\frac{1}{2}$ oitava. No lado esquerdo de cada uma dessas figuras está a configuração elétrica correspondente. No lado direito está a simulação da distribuição do campo elétrico pelo espaço considerado.

Na figura 7.34 não são usados recursos eletrônicos. Portanto, essa pilha não é assistida por nenhuma técnica de Formação de Feixes. Veja do lado direito da figura que há uma certa redução do ângulo de cobertura vertical, mas decorrente apenas do efeito Linha Broadside.

Na figura 7.35 já há aplicação de atraso a todos os subwoofers, exceto o inferior, em ordem crescente, de baixo para cima, nas proporções estabelecidas na configuração elétrica da esquerda. Portanto, aqui a pilha é assistida por Formação de Feixes.

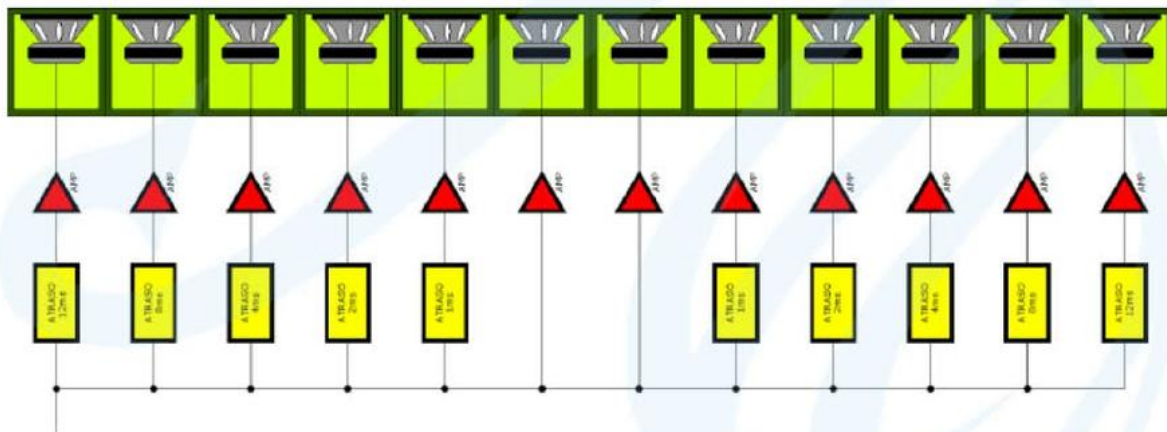


figura 7.36 pilhas de 12 subwoofers com técnica especial de formação de feixes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.36 mostra uma pilha vertical com 12 subwoofers, submetidos a uma das técnicas de Formação de Feixes, por força de introdução de atraso crescente do centro para cima e do centro para baixo, como anotado nos retângulos amarelos da figura.

A figura 7.37 mostra os correspondentes padrões de radiação dessa pilha, para as frequências de 40 Hz, 60 Hz e 80 Hz.

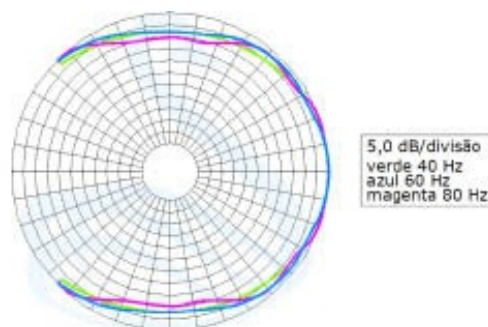


figura 7.37 resultados acústicos da pilha da figura 7.36 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

7.4.3 Linha Gradiente (Gradient Array) São arranjos formados por dois ou por três subwoofers, com ao menos um deles energizado com polaridade invertida, de maneira a criar gradiente de pressão numa dada direção. O objetivo disto é obter o total cancelamento de energia numa dada direção. Com que finalidade? De orientar o arranjo de sorte que a direção do cancelamento fique apontada para o palco. Como resultado, aumenta-se bastante o ganho antes da realimentação no segmento do espectro coberto pelos subwoofers. Criando, assim, elevado grau de imunidade contra a microfonia.

Uma das características principais das técnicas Linha Gradiente é que elas permitem obter excelentes resultados com volumes físicos muito reduzidos. Vejamos um exemplo bem prático disso. A figura 7.38 exhibe o padrão polar de radiação 3D de uma pilha com apenas dois subwoofers o que, intuitivamente, em condições normais seria insuficiente para apresentar efeito mais notável de diretividade.

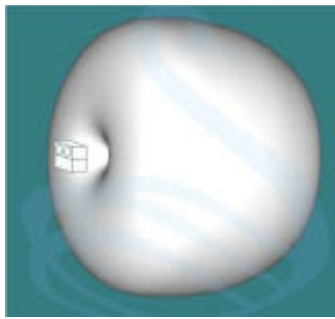


figura 7.38 padrão polar de radiação 3D de pilha Linha Gradiente com apenas 2 subwoofers acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Entretanto, pode-se ver muito bem que, como resultado da aplicação de técnica Linha Gradiente, o padrão polar de radiação da figura se assemelha muito a um padrão cardióide clássico.

O uso de pilhas de subwoofers com quantidade suficiente de elementos para apresentar comportamento de Linhas Broadside também pode ser submetido às técnicas das Linhas Gradiente. Nesse caso, o padrão polar 3D de radiação passa a ser um cardióide bem alongado, denotando aumento substancial de diretividade. A figura 7.39 ilustra esse lance.

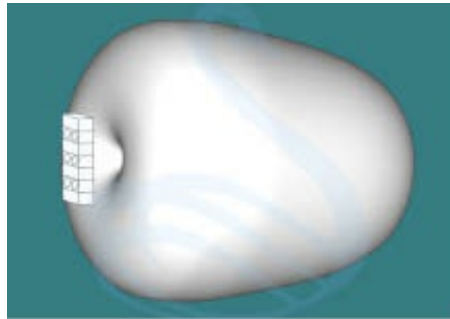


figura 7.39 padrão polar de radiação de pilha Linha Gradiente com pilha de subwoofers acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra possibilidade é combinar as técnicas Formação de Feixes com as Linhas Gradiente para obter efeitos como o direcionamento do eixo principal da radiação. Veja na figura 7.40 como o eixo do padrão polar 3D de radiação da figura 7.39 pode ser alterado como desejado, mantendo-se a pilha em posição bem vertical.

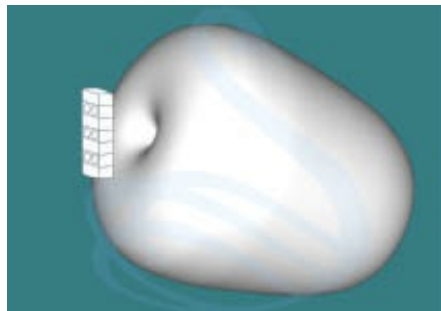


figura 7.40 combinação de Formação de Feixes com Linhas Gradiente para redirecionamento do feixe acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Atenção para a figura 7.41.

Ela exhibe um arranjo formado por dois subwoofers. O de cima é convencional e o de baixo é montado num gabinete tubular, aberto nas duas extremidades, que ficam equidistantes do transdutor. Dessa maneira, esse subwoofer funciona como um dipolo. As marcas “+” na figura representam compressões e a marca “-” representa rarefação.

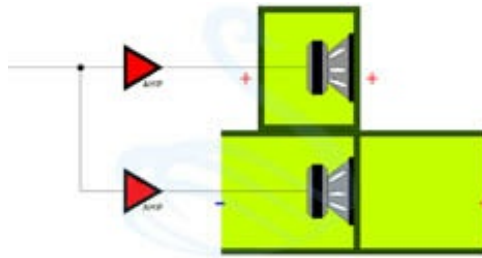


figura 7.41 arranjo simples de dois subwoofers, o de cima selado e o de baixo em gabinete tubular aberto dos dois lados acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O subwoofer de cima é totalmente selado. Como tal, quando ele comprime na parte frontal, também se verifica compressão na parte traseira.

Como prever o que resulta da soma dessas compressões e rarefações? No eixo vertical que passa pelos centros acústicos dos dois falantes não há contribuições do dipolo. Logo, toda a energia é proveniente apenas do subwoofer superior. No eixo horizontal que passa entre os dois transdutores, na parte frontal, as duas compressões se combinam e, portanto, são duplicadas. Já na parte traseira desse mesmo eixo horizontal as energias provenientes dos dois subwoofers têm a mesma intensidade mas fases opostas. E se cancelam. Resultado? Veja na figura 7.42.

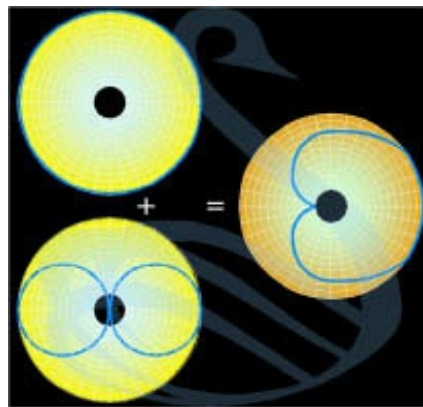


figura 7.42 detalhe da formação da diretividade cardióide, partindo do arranjo da figura 7.41 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essa não é a única forma de produzir uma pilha gradiente. Outra maneira é como na figura 7.43.

Vejamos então. Lá estão dois subwoofers iguais em tudo. Que vou chamar de subwoofer frontal e de subwoofer traseiro.

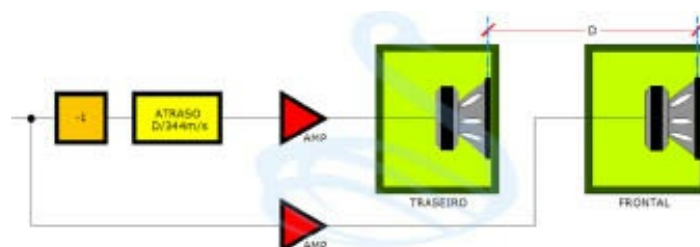


figura 7.43 arranjo de dois subwoofers como alternativa para o arranjo da figura 7.41 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os sinais da fonte são amplificados e a seguir entregues ao subwoofer frontal. O subwoofer traseiro é alimentado a partir da mesma fonte que energiza o subwoofer frontal. Entretanto, só depois de ter sua fase rotacionada em 180° (bloquinho “-1”). Providência essa que cria um dipolo, como visto acima. Além da rotação de fase os sinais entregues ao subwoofer traseiro sofrem atraso de sinais. Esse atraso pode ser calculado precisamente para que os sinais produzidos pelos subwoofers coincidam temporalmente. Dessa maneira, para um observador situado na frente do arranjo, os sinais produzidos pelos dois subwoofers se somam produzindo nível mais elevado do que qualquer dos subs isoladamente considerado. Entretanto, para um observador

colocado atrás do subwoofer traseiro, as saídas acústicas dos dois subs se cancelam.

Em meus cursos de acústica e de áudio profissional digo que foi com um arranjo desses que consegui obter os padrões de radiação da figura 7.44.

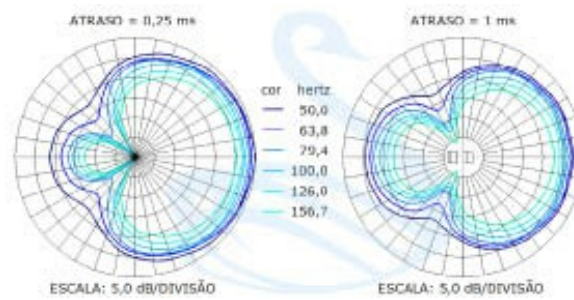


figura 7.44 padrões polares de radiação do arranjo da figura 7.43

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Também digo nos cursos que usei tal arranjo numa igreja, com o cluster montado imediatamente acima do palco e ligeiramente adiante do microfone. Minha preocupação única foi ajustar fisicamente o arranjo de modo que as direções de menor irradiação de energia ficassem apontadas para onde estava o microfone. Como isso ocorreu há mais de 30 anos, as pessoas não entendiam como era possível não haver microfonia. Mesmo com volumes bem elevados para a plateia. Mormente porque a igreja era muito reverberante, desprovida de qualquer tratamento acústico.

Por favor, sua atenção para a figura 7.45. Nela, o subwoofer traseiro fica orientado de costas para o subwoofer frontal

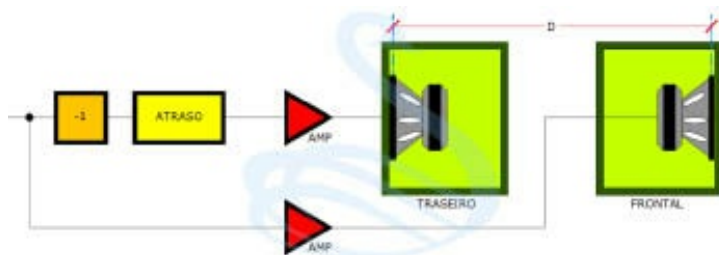


figura 7.45 arranjo da figura 7.43 com redirecionamento de um dos subwoofers acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vejamos qual é a lógica que faz o arranjo da figura 7.45 funcionar como fonte direcional.

Observe que o sinal entregue ao subwoofer traseiro é submetido a um atraso eletrônico. O objetivo é fazer com que a onda acústica traseira “espere” a chegada da onda acústica frontal para que, na propagação traseira, essas duas ondas sigam temporalmente sincronizadas. Para que isso ocorra com o máximo de acuidade, o atraso pode ser meticulosamente ajustado. Outrossim, na parte traseira do arranjo a onda que provém do subwoofer frontal e a que provém do subwoofer traseiro estão na mesma fase. Por essa razão o sinal traseiro ainda é submetido a uma rotação de fase de 180°.

Agora, preenchidas essas duas condições, as ondas frontais e traseiras irradiadas para trás do arranjo, perfeitamente alinhadas no tempo e com fases opostas. Por isso elas se cancelam. Que é o objetivo colimado de obter diretividade.

Minhas andanças por muitas instalações mostram que muitos se dão por satisfeitos apenas com isso. Mas ainda há uma questão em aberto. Qual é exatamente a distância “D” que deve haver entre os centros acústicos dos dois subwoofers e com a qual devemos trabalhar? Bem,

além do cancelamento traseiro podemos contar com um certo ganho de energia na radiação frontal do arranjo. Sim, porque ‘é de esperar que haja uma certa soma da onda frontal com a onda traseira. Certo? Mais ou menos.

Porque? Ora, cada frequência possui seu próprio comprimento de onda. Como os dois subwoofers têm seus centros acústicos separados pela distância “D”, que é fixa, temos uma situação na qual vai haver interação entre essa distância fixa e comprimentos de onda variáveis.

É nessas condições que queremos obter o efeito combinado do cancelamento acústico traseiro com o ganho frontal. Já vai ficar claro porque só podemos mesmo obter esse objetivo para um segmento relativamente limitado do espectro de frequências.

O comportamento acústico na parte frontal do arranjo pode ser facilmente decomposto em três regiões distintas. A primeira dessas regiões é precisamente a frequência que vou chamar de “frequência parâmetro”. Nessa frequência, as ondas acústicas frontais provenientes dos dois subwoofers estão temporalmente alinhados e em fase. Logo, eles se combinam de forma coerente e produzem soma 6,0 dB superior ao que cada subwoofer individualmente considerado produz. No caso da figura 7.46, a frequência parâmetro é $FR = 67$ Hz.

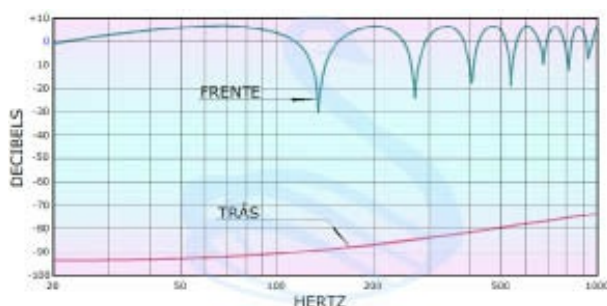


figura 7.46 comportamento acústico frontal e traseiro do arranjo da figura 4.75
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na segunda região, uma oitava acima de FR, ou seja, 134 Hz no caso da figura 7.46, ocorre o primeiro “cancelamento”. O que significa que de 67 Hz para cima a diferença de fase começa a aumentar progressivamente até atingir 180º uma oitava acima da frequência parâmetro.

Na terceira região, abaixo da frequência referência, a diferença de fase vai aumentando à medida que a frequência diminui. Entretanto, a taxa de progressão dessa diferença também vai diminuindo em função do aumento do comprimento de onda da frequência considerada.

Esses são os elementos principais que temos para pensar em definir o espaçamento entre os subwoofers. Isto é, a frequência parâmetro deve ser escolhida de maneira que a radiação frontal sofra a menor variação possível em sua resposta de frequência. Considerando que o primeiro “cancelamento”, ou efeito “notch”, como prefiro chamar, ocorre uma oitava acima da frequência parâmetro, uma primeira possibilidade é escolher a frequência parâmetro coincidente com a frequência de corte superior do subwoofer. Por exemplo, 110 Hz. Assim sendo, temos certeza que o primeiro efeito notch só ocorrerá na frequência de 220 Hz.

Portanto, bem afastada da banda de atuação dos subwoofers. Cálculos teóricos evidenciam que o espaçamento entre os subwoofers que conduz ao melhor compromisso entre ganho frontal e atenuação traseira é da ordem de $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda da frequência parâmetro. Em nosso caso, $\frac{1}{4} \lambda_{110} = \frac{1}{4} (344/110) = 0,78$ metro.

Definida a distância “D” pode-se calcular o atraso eletrônico com acuidade.

As respostas de frequência da figura 7.46 foram levantadas com simulações, sendo os microfones de teste localizados na frente e atrás do arranjo. A curva azul, na parte superior da figura foi “medida” pelo microfone frontal. A curva magenta, na parte inferior da figura, é a resposta de frequência “mensurada” pelo microfone traseiro.

A figura não deixa dúvida que o comportamento traseiro do arranjo é mesmo o que era esperado. Entretanto, ele só vem às expensas de uma redução significativa do ganho frontal esperado que, em condições ideais, seria da ordem de 6,0 dB. Posso concluir dizendo que essa é uma das regras do jogo. Em arranjos assim costuma-se trocar uma certa redução do ganho frontal para viabilizar a obtenção de forte atenuação traseira. Ou seja, a diretividade do conjunto.

O preço do cancelamento não se limita a isso. Desenvolve-se na parte frontal um efeito “filtragem pente (comb filtering)”, que resulta do fato há pouco lembrado, que estamos diante de uma situação na qual a distância “D” é fixa e os comprimentos de onda variam com a frequência. A maneira de driblar essa questão é escolher a frequência parâmetro com critério, como fizemos no exemplo acima.

A gama desejada de, digamos 30 Hz a 110 Hz é perfeitamente aceitável para subwoofers profissionais. O que corresponde a quase duas oitavas.

Por favor, volte à figura 7.43. Veja que o atraso de sinais é aplicado ao subwoofer traseiro. Porque a ideia é forçar a onda produzida pelo subwoofer traseiro, que segue para trás do arranjo, esperar a chegada da onda produzida pelo subwoofer frontal, que também segue para trás do arranjo. A rotação de fase de 180° aplicada ao sinal entregue ao subwoofer traseiro tem a intenção de que essas ondas se encontrem de forma sincrônica com fases invertidas. Ou seja, o que se faz é maximizar o cancelamento traseiro do arranjo e lidar na medida do possível com o ganho frontal. Agora, considere o arranjo da figura 7.47.

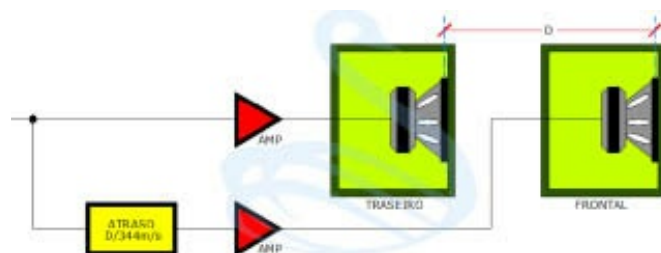


figura 7.47 fatores de ponderação para uma matriz Bessel 7x7

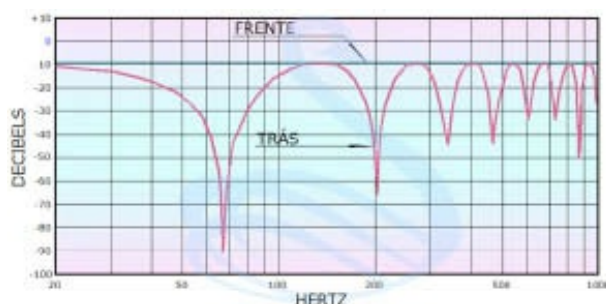
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Agora o atraso não está mais sendo aplicado aos sinais entregues ao subwoofer traseiro, mas sim ao subwoofer frontal. A ideia é que a onda frontal que segue

para a frente do arranjo “espere” a chegada da onda traseira, que também seguirá para a frente do arranjo, o que as sincronizará.

Ora, essas duas ondas estarão não só sincronizadas, mas na mesma fase. Então, elas se combinarão e produzirão ganho de 6,0 dB em relação a cada onda individualmente considerada.

Pois bem, essa maneira de esquematizar o arranjo maximiza o ganho frontal e implica em lidar com o cancelamento traseiro na medida do possível.

Os comportamentos na frente e atrás do arranjo da figura 7.43 é o que mostra a figura 7.46. A figura 7.48 mostra esses mesmos comportamentos, agora para o arranjo da figura 7.47.



comportamento acústico frontal e traseiro do arranjo da figura 7.47

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Faça uma análise comparativa detalhada entre as figuras 7.46 e 7.48 e você estará em condições favoráveis para compreender bem as soluções de compromisso que é preciso assumir no caso de maximização do cancelamento frontal versus caso da maximização do ganho frontal.

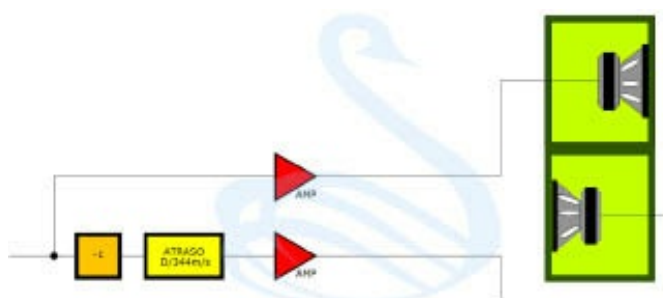


figura 7.49 Linha Gradiente com pilha vertical dupla acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

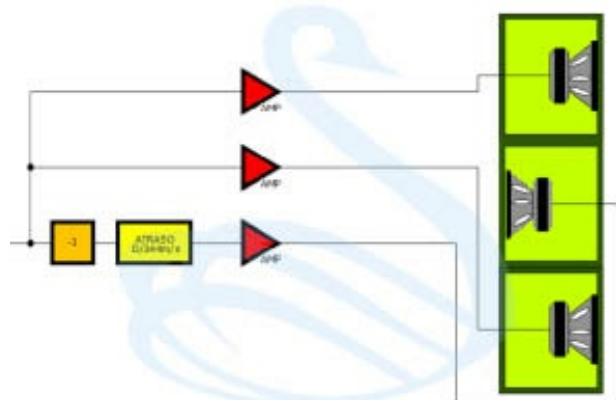


figura 7.50 Linha Gradiente com pilha vertical tripla acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há outras arquiteturas de arranjos Linha Gradiente. O da figura 7.49 e o da figura 7.50 são exemplos disso. O primeiro é uma pilha vertical dupla e o segundo uma pilha vertical tripla. Me habituei a chamar esses arranjos de P2 e P3, respectivamente.

A figura 7.51 mostra a distribuição do campo acústico e a resposta de frequência do arranjo P2, no qual trabalhei um pouco o processamento para dirigir o feixe com alguma

angulação para cima. A frequência de teste é 50 Hz e a banda de trabalho de uma oitava plena. O microfone de prova está no eixo frontal do arranjo distanciado de 12 metros.

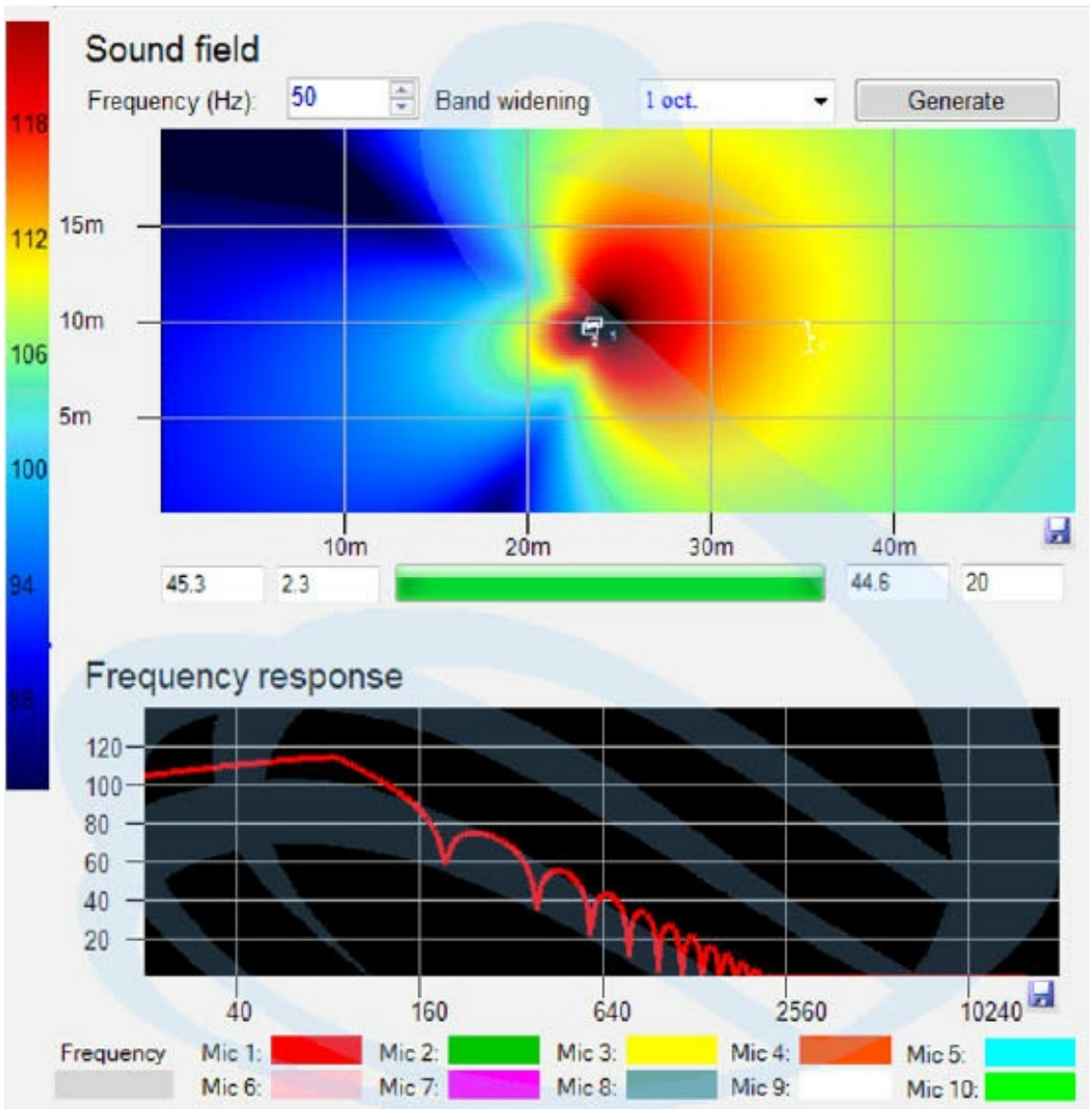


figura 7.51 distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo P2
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para que se possa comparar P2 com P3, a figura 7.52 mostra a distribuição do campo acústico e a resposta de frequência do arranjo P3. A frequência de teste ainda é 50 Hz e a banda de trabalho é, como no caso anterior, uma oitava plena. O microfone de prova está no eixo frontal do arranjo distanciado de 12 metros

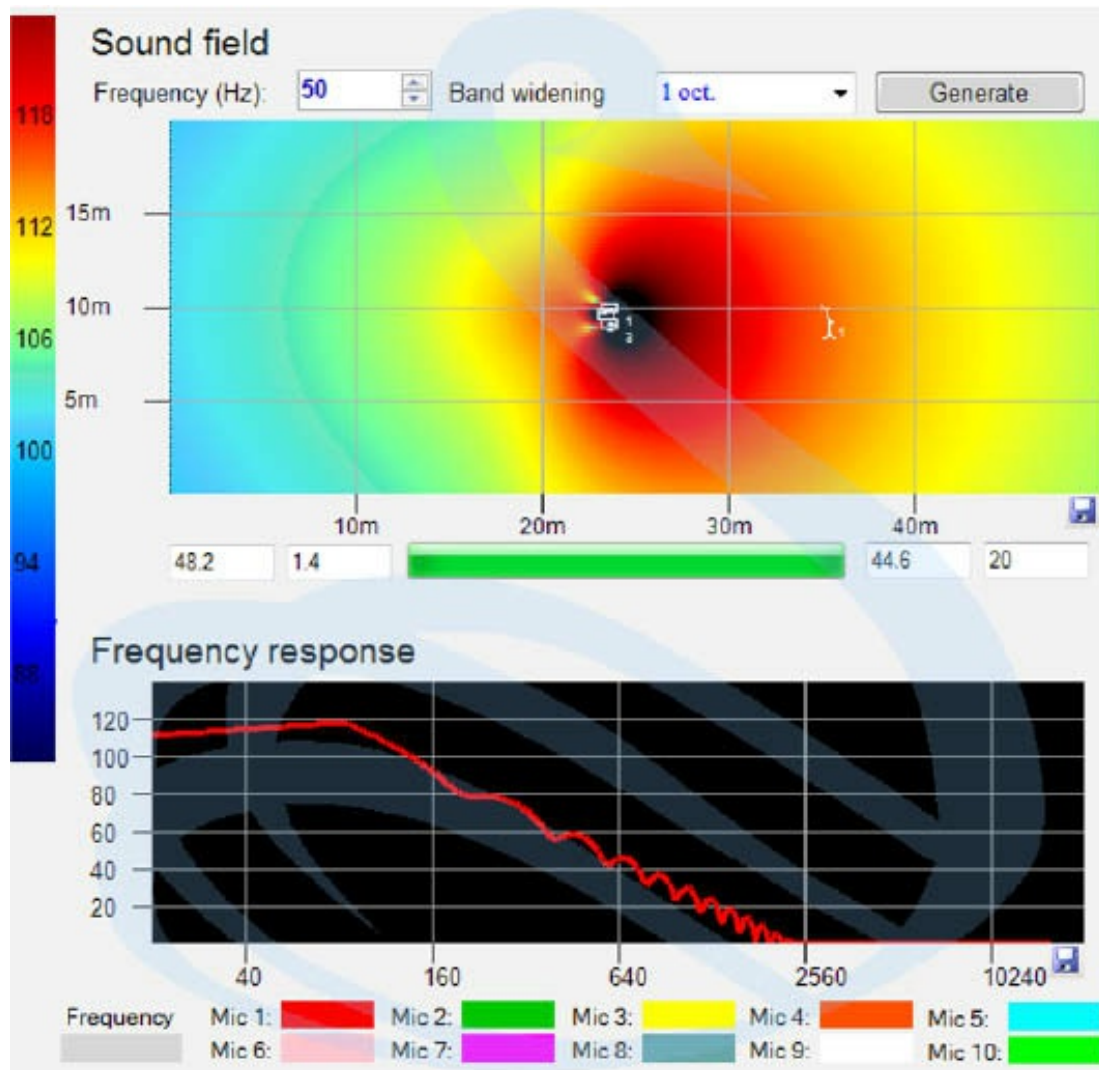


figura 7.52 distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo P3 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra arquitetura comum de Linha Gradiente é a linha horizontal ilustrada na figura 7.53. A orientação é feita de acordo com as regiões que se pretende ter mais energia e em quais é mais conveniente proteger.



figura 7.53 arquitetura comum de Linha Gradiente com orientação formatável acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

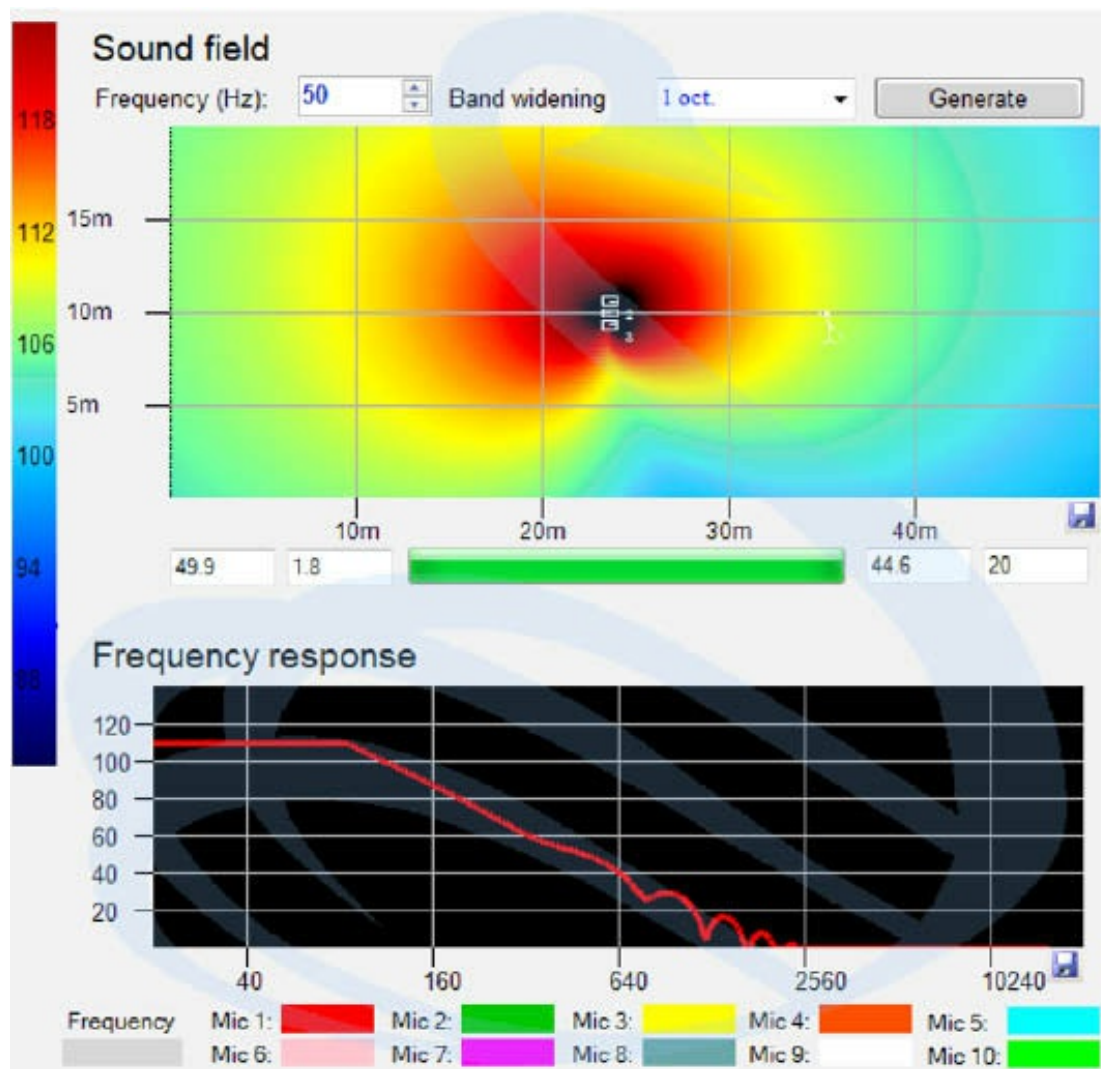


figura 7.54 distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.53
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.54 mostra a distribuição de campo acústico e a
 resposta de frequência desse arranjo horizontal, com o microfone de teste distante 10 metros do
 arranjo. A frequência de teste ainda é 50 Hz e a banda de trabalho é, como nos casos anteriores, uma
 oitava plena.

Muito bem. Isso tudo posto devo acrescentar que podemos usar nossa imaginação para criar arranjos como se estivéssemos lidando com legos. Por exemplo, o arranjo da figura 7.50, que basicamente é uma fila com 3 subwoofers um ao lado do outro, pode ser combinada com um segundo arranjo igual montado sobre o primeiro. Então teremos algo como sugere a figura 7.55.



figura 7.55 fila dupla de três subwoofers acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mas podemos
 continuar. Precisamente como escrevi antes, como quem lida com lego e brinquedos semelhantes. Veja
 na figura 7.55 o arranjo da figura 7.53 duplicada com aumento horizontal da fila. Recomendo a quem
 faz tais combinações de arranjos que use um software de predição para saber exatamente o que tem em
 mãos diante de cada arranjo imaginado. Evidentemente, conhecer o básico sobre todas as técnicas é
 fundamental e indispensável para antecipar resultados, independentemente de software. Além disso, a
 experiência de campo ajuda muito.



**figura 7.56 uma extensão horizontal do arranjo da figura 7.55
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 7.4.4 Endfire**

Vamos começar com a origem do termo endfire. É um empréstimo carinhoso do jargão das antenas de rádio comunicação. A antena “endfire array” é formada por uma certa quantidade de elementos arranjados numa única linha, todos paralelos entre si, com distâncias variando entre $1/8$ e $1/4$ do comprimento de onda da frequência a ser transmitida ou recebida.

No caso dos subwoofers, o nome deve-se ao fato do arranjo ser fisicamente similar ao da antena. Podemos definir, portanto, Endfire, como o grupo de subwoofers organizados em filas horizontais com todos os falantes alinhados com o eixo horizontal principal da fila, e orientados para a frente, na direção e sentido que se quer mais energia.

Como veremos em instantes, a distância entre os falantes pode ser fixa ou variável.

Exceto pelo sinal enviado ao último falante da fila, todos os demais são submetidos a atrasos eletrônicos com o objetivo de que todas as ondas acústicas de todos os falantes atinjam a parte frontal da fila simultaneamente e em fase. Assim, o resultado na parte frontal do arranjo será a soma coerente de todas as ondas acústicas produzidas.

Ao mesmo tempo em que se quer maximizar o ganho na parte frontal, também se quer o máximo de rejeição das ondas na parte traseira do arranjo. Na técnica Endfire nenhum falante é submetido a rotação ou alteração de fase.

A figura 7.57 ilustra a ideia por trás desta técnica.

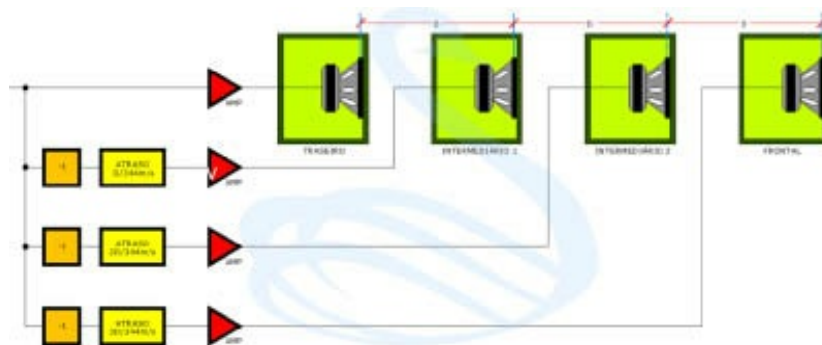


figura 7.57 arranjo de 4 subwoofers consoante técnica Endfire acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Para você ter uma ideia do resultado acústico de um arranjo Endfire, preparei a simulação da figura 7.58, com os seguintes elementos.

A distância entre subwoofers adjacentes é 1,80 metros. Isso vale para todo o arranjo. Os sinais encaminhados ao subwoofer frontal estão submetidos a atraso eletrônico de 15,70 ms. O atraso aplicado aos sinais entregues ao subwoofer intermediário 2 é 10,40 milissegundos. E o atraso aplicado aos sinais entregues ao subwoofer intermediário 1 é 5,02 milissegundos. Todos os subwoofers estão apontando para a frente (direita no gráfico da simulação) e todos estão na

mesma fase.

A frequência escolhida é 50 Hz e a banda operacional de trabalho é uma oitava plena, como na maioria dos casos anteriores. O microfone de teste está situado no eixo principal do arranjo e está afastado dele aproximadamente 15,0 metros.

A parte superior da figura mostra bem a distribuição do campo acústico e o grau de diretividade que se pode obter com um arranjo assim. Note que se aumentarmos a frequência operacional de trabalho, ou apenas aumentar a banda, a tendência é de aumento da diretividade do arranjo.

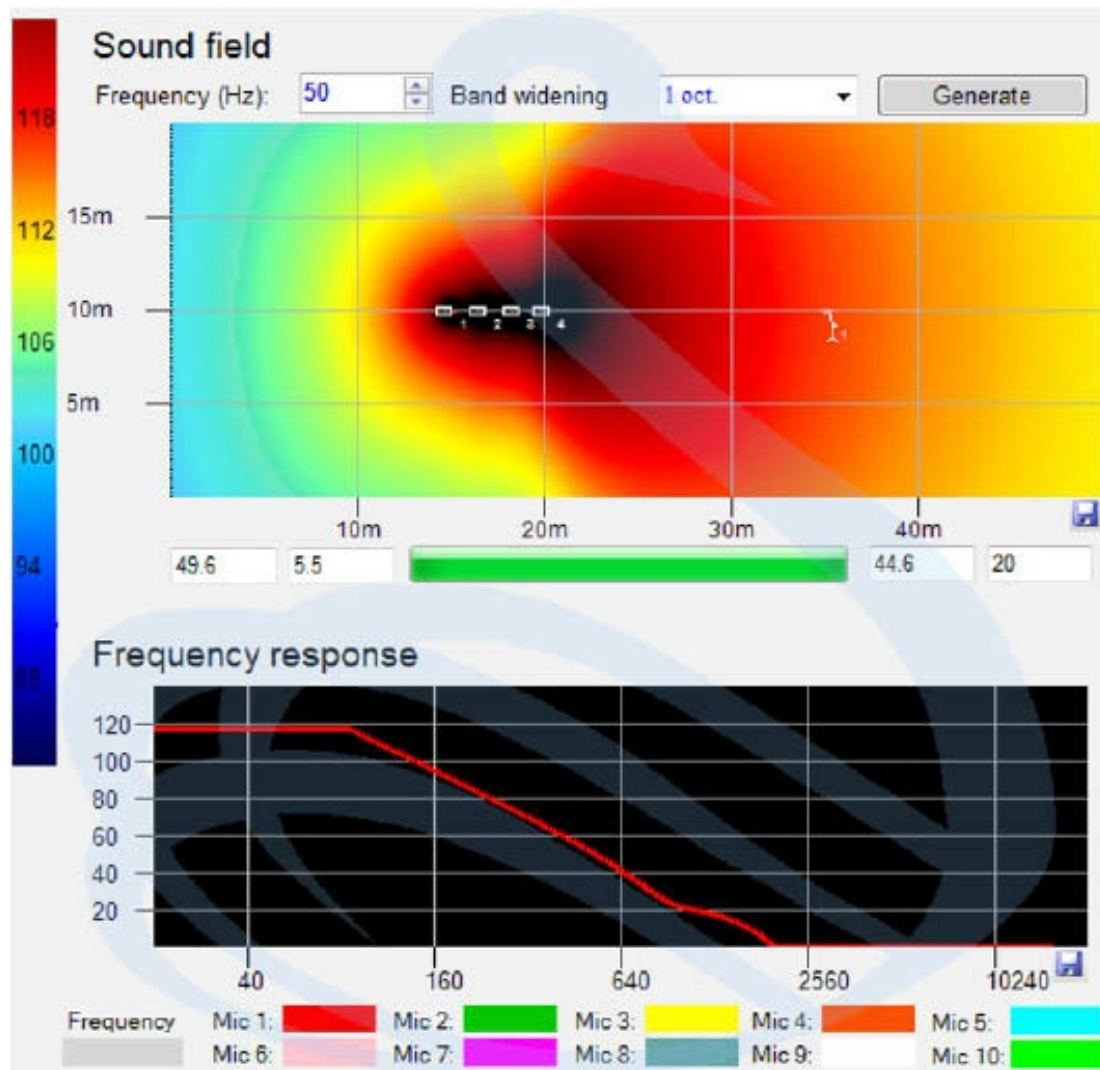


**figura 7.58 distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.57
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne**

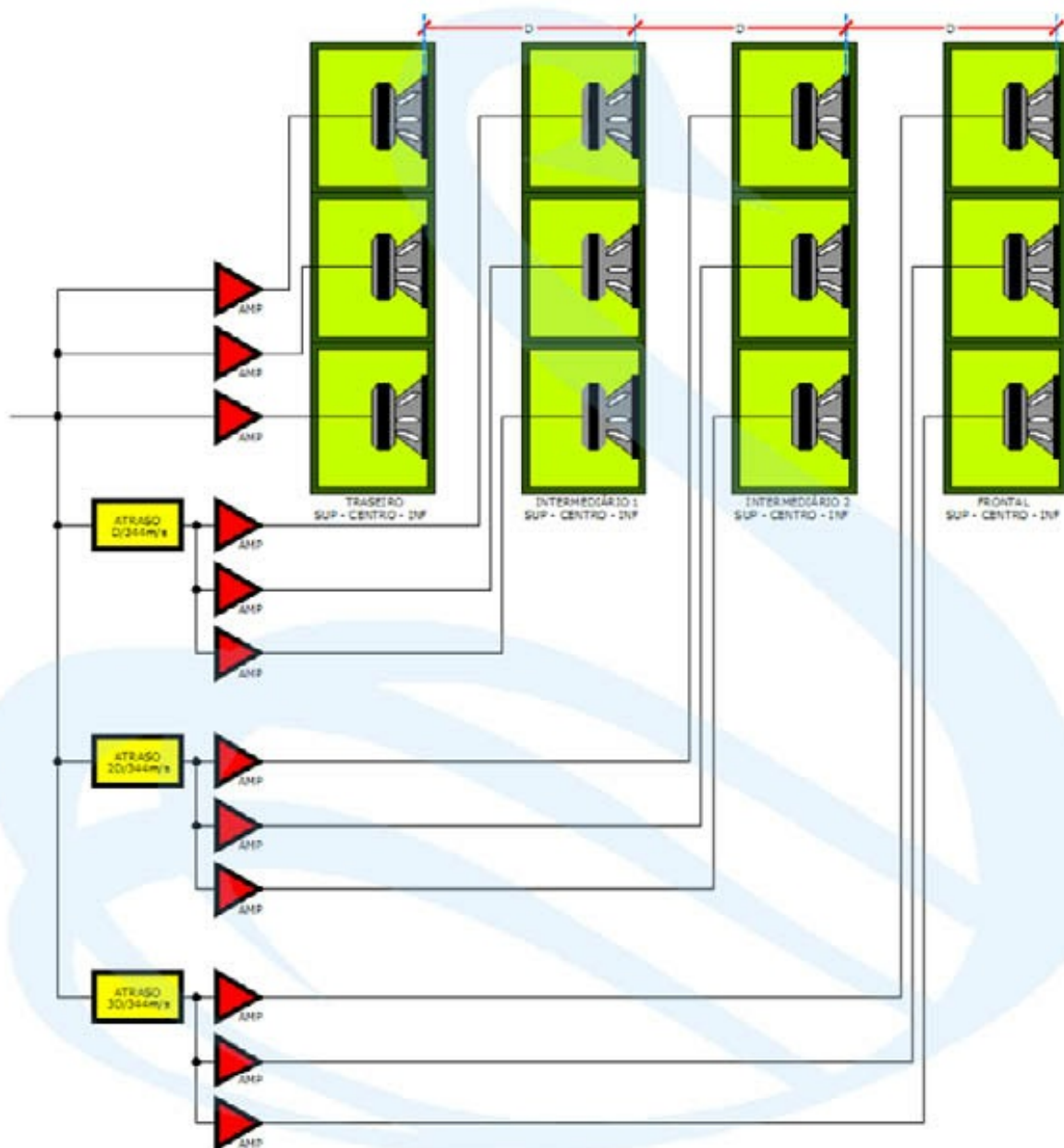


figura 7.59 fatores de ponderação para uma matriz Bessel 7x7
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 7.57 e 7.58 acima fazem referência ao assim chamado Endfire Simples. O Endfire Composto é como ilustra a figura 7.59, lembrando que a quantidade de subwoofers empilhados verticalmente absolutamente não precisa ficar limitada a três elementos. Essa foi a quantidade que usei na figura, mas apenas com finalidades de exemplo.

Vamos supor que a distância entre pilhas adjacentes de subwoofers seja 1,80 metros, o que se aplicaria a todo o arranjo. Então, os sinais encaminhados aos subwoofers frontais precisariam estar submetidos a atraso eletrônico de 15,70 ms. O atraso aplicado aos sinais entregues aos subwoofers intermediários 2 teria que ser 10,40 milissegundos, porquanto o atraso aplicado aos sinais entregues aos subwoofers intermediários 1 teria que ser 5,02 milissegundos. Todos os subwoofers estão apontando para a frente (direita no gráfico da simulação) e todos estão na mesma fase.

A frequência escolhida é 80 Hz e a banda operacional de trabalho é, como nos casos anteriores, uma oitava plena. O microfone de teste está situado no eixo principal do arranjo e está afastado dele aproximadamente 15,0 metros.

A parte superior da figura 7.60 mostra a distribuição do campo acústico e o grau de

diretividade do arranjo Endfire Composto da figura 7.59. A parte inferior da figura 7.60 mostra resposta de frequência na posição do microfone de teste.

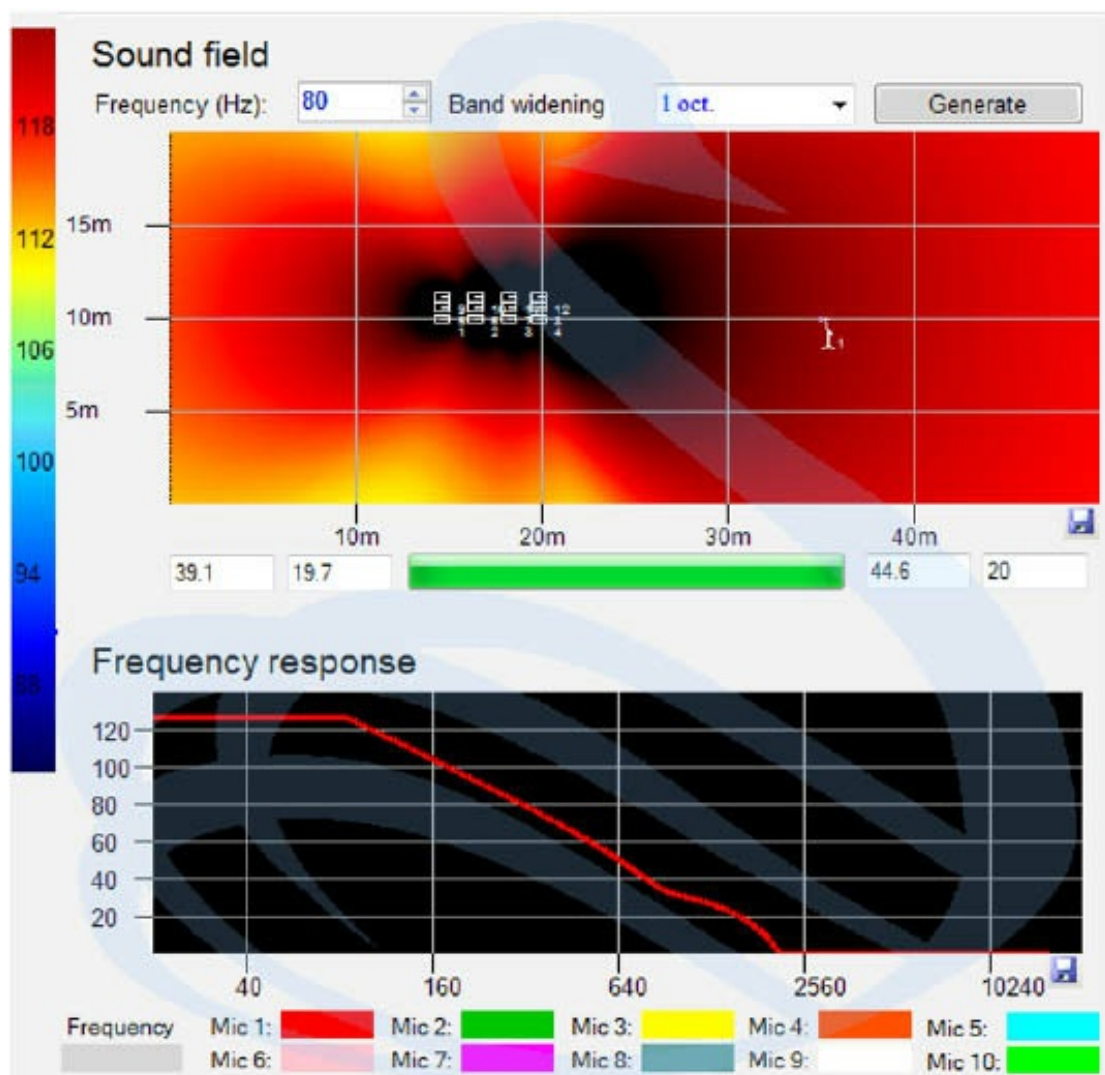


figura 7.60 distribuição de campo acústico e grau de diretividade e resposta de frequência do arranjo da figura 7.59

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.61 mostra um arranjo parecido com a da figura 7.57, com a diferença de que as distâncias entre subwoofers aumenta progressivamente do fundo para a frente do arranjo.

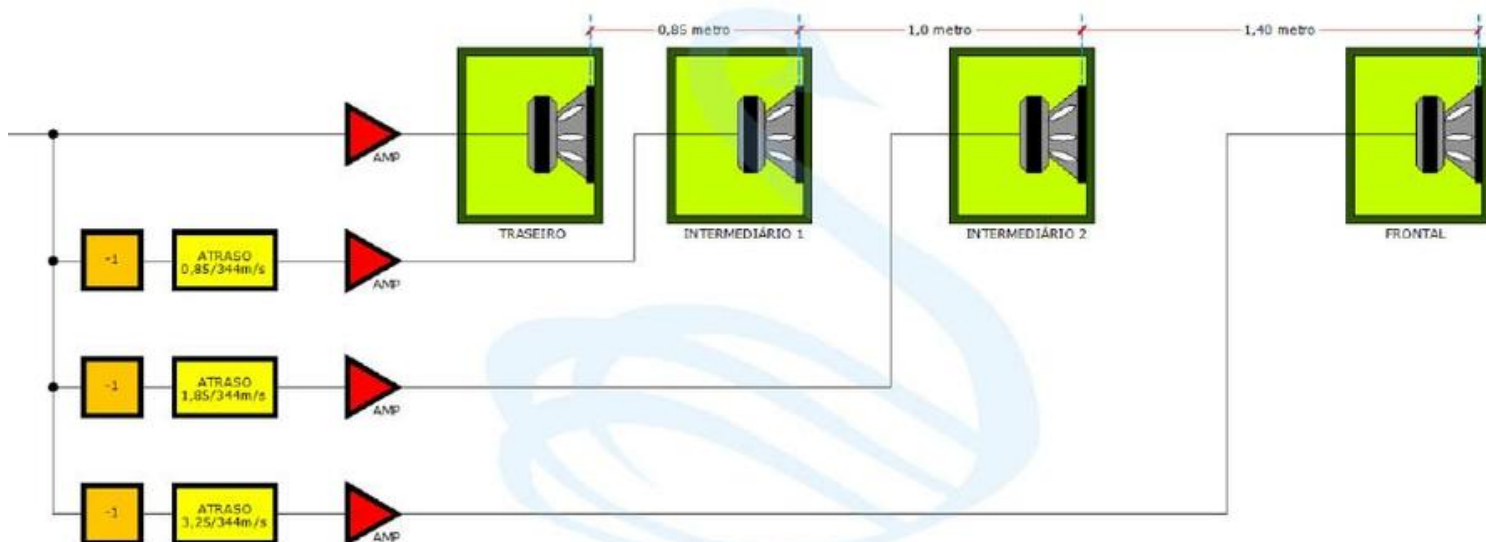


figura 7.61 arranjo Endfire Log Periódico com 4 subwoofers acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A progressão das distâncias indicadas na figura 7.61 também é outro empréstimo da teoria das antenas, agora de forma mais específica, já que esse é o conceito fundamental por trás das antenas log

periódicas. Sim, porque nestas, os elementos diretores montados na gôndola guardam entre si espaçamentos calculados com base na teoria dos logaritmos. Por essa razão os espaçamentos aumentam progressivamente numa função logarítmica.

Esse mesmo princípio é aplicado aos subwoofers, como sugere a figura 7.61. Esse fato dá o nome a essa natureza de arranjo de subwoofers, que é o **Endfire Log Periódico**.

O campo acústico e a resposta de frequência produzidos pelo arranjo **Endfire Log Periódico** é o que mostra a figura 7.62. A frequência selecionada é 60 Hz, porquanto a banda operacional de trabalho é de uma oitava plena. O microfone de teste está situado no eixo principal do arranjo com afastamento de aproximadamente 15,0 metros.

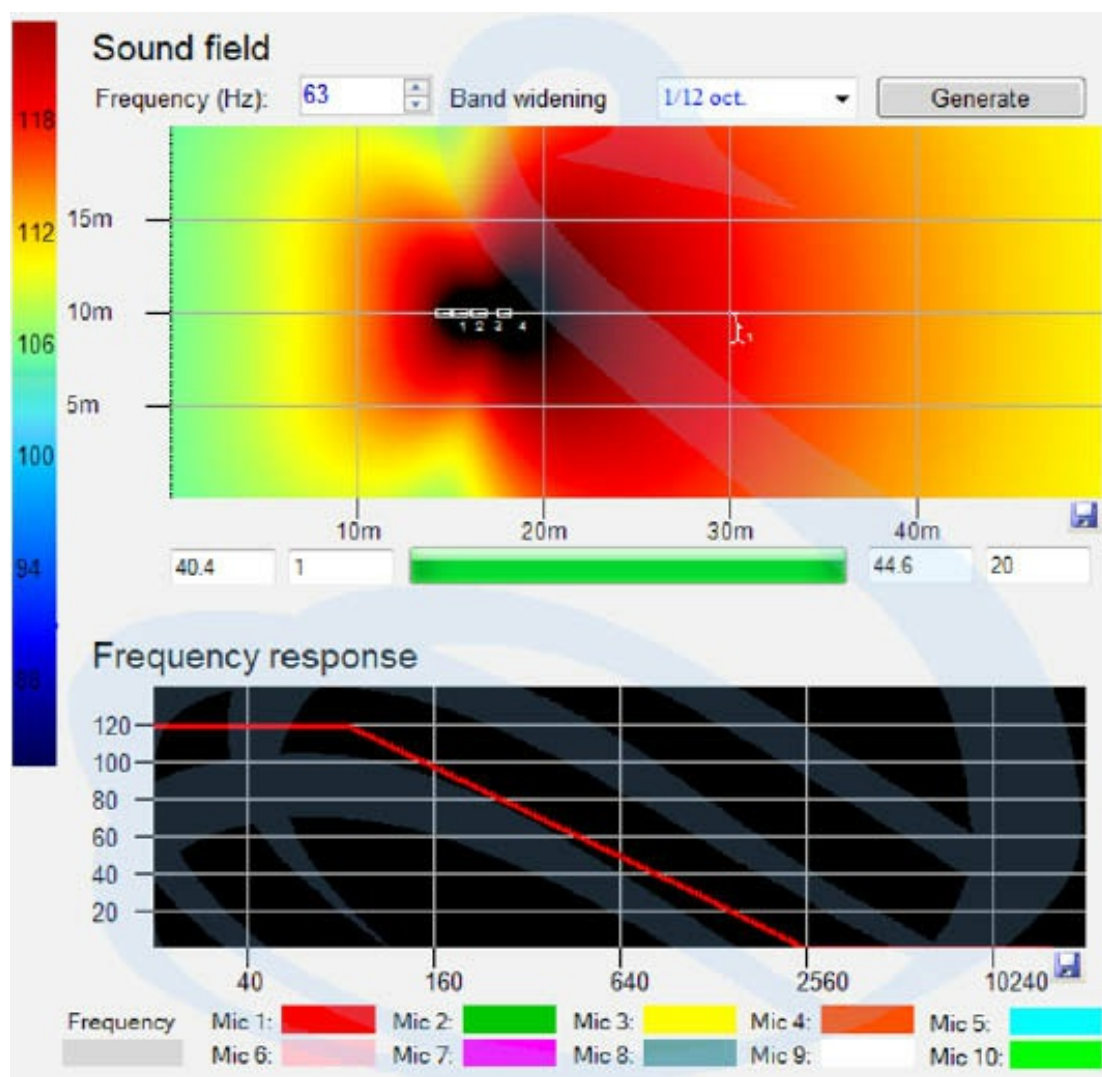


figura 7.62 campo acústico e resposta de frequência do arranjo Endfire Log Periódico da figura 7.61
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O arranjo Endfire Log Periódico Simples discutido acima
também pode ser modificado para assumir a forma composta. Esta, mais elaborada, é o que evidencia a
figura 7.63.

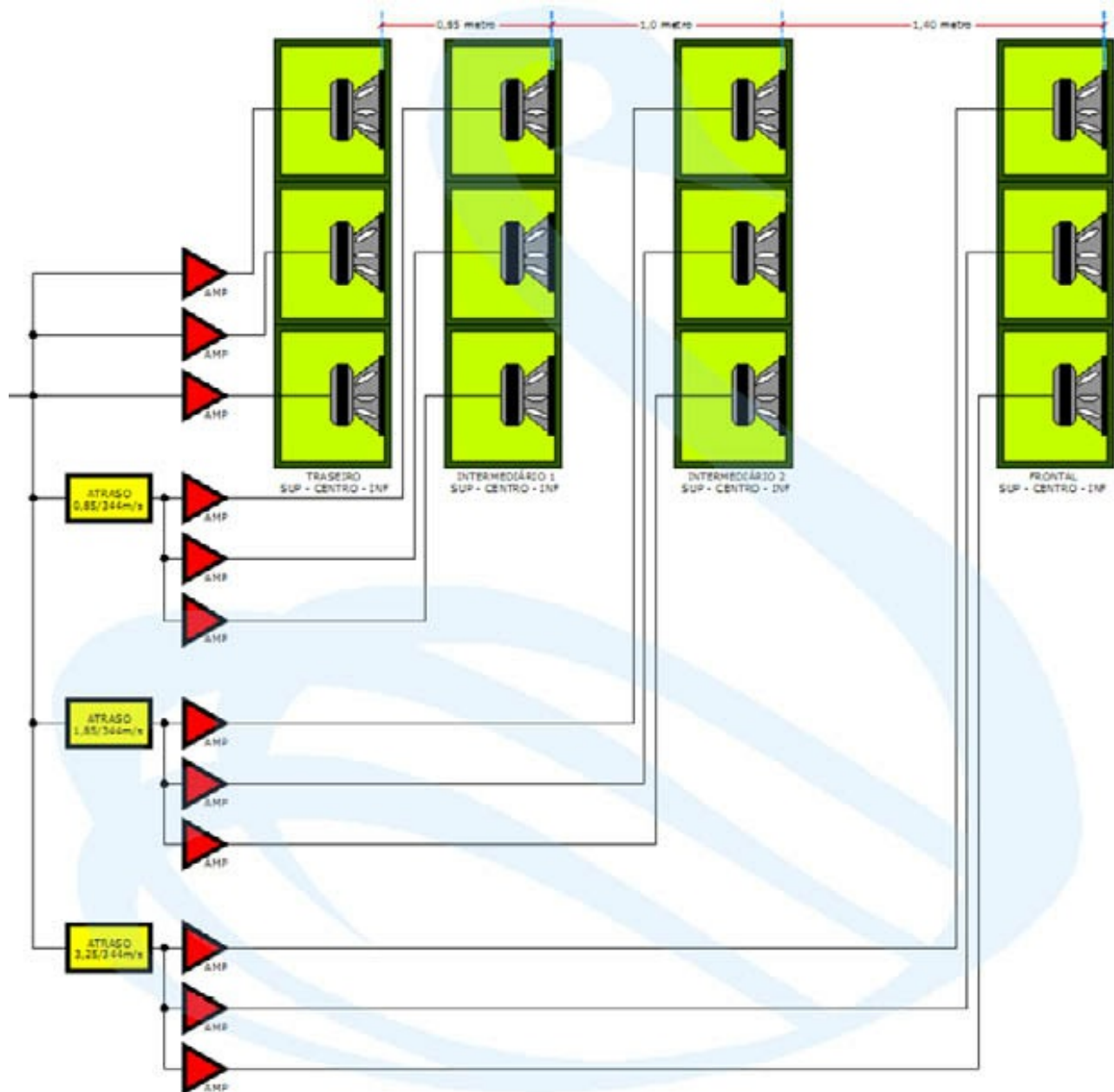


figura 7.63 arranjo Endfire Log Periódico Composto, formado por 12 subwoofers acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os resultados acústicos no espaço produzidos pelo arranjo da figura 7.63 é o que mostra a figura 7.64.

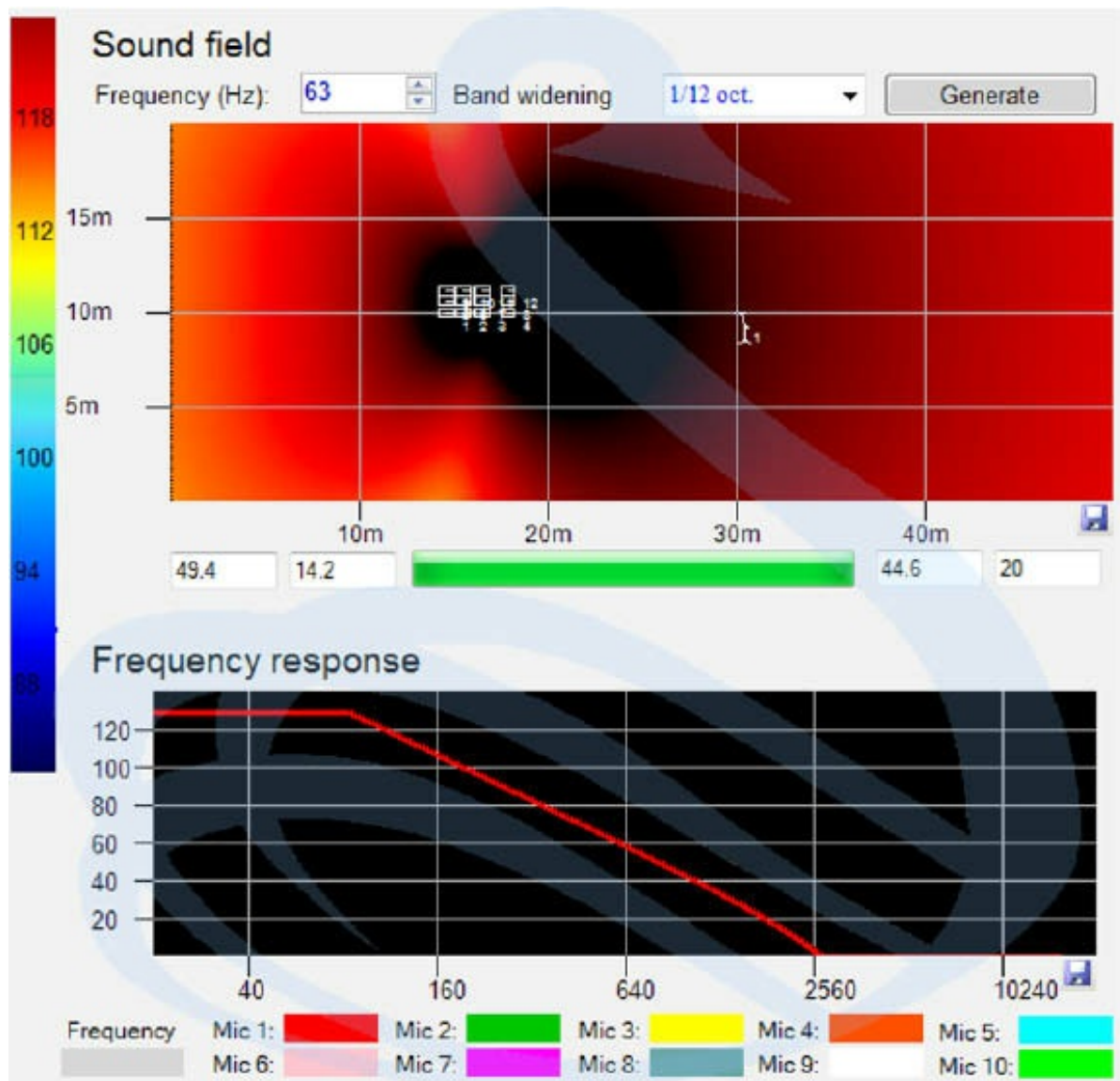


figura 7.64 distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo Endfire Log Periódico Composto da figura 7.63

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Neste ponto creio que você já sacou que os arranjos Endfire Simples ou Compostos, Puros ou Log Periódicos, são concebidos para maximizar o ganho frontal dos arranjos. Como vimos antes, há sempre outra maneira de encarar os mesmos arranjos, no sentido de maximizar a atenuação na parte traseira do arranjo.

É o que discutimos a seguir.

7.4.5 Quasi Endfire A rigor, o arranjo Quasi Endfire é uma variante do arranjo Endfire. Veja na figura 7.65 e compare esse arranjo com o da figura 7.57, que é o Endfire.

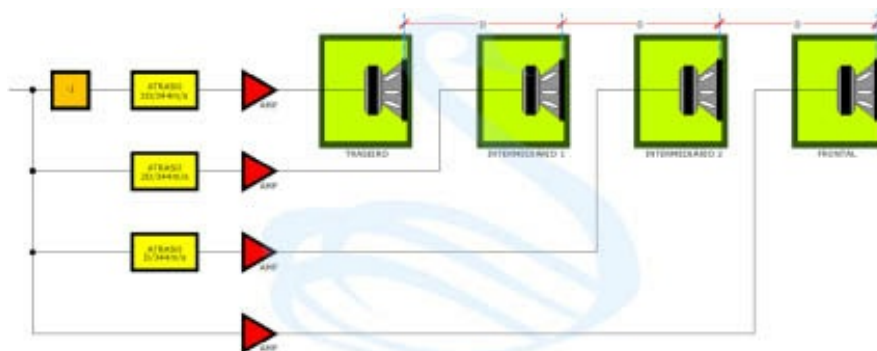


figura 7.65 arranjo de 4 subwoofers consoante técnica Quasi Endfire acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Observe que os sinais entregues ao subwoofer frontal não são submetidos a nenhuma forma de processamento. Em especial, de atraso eletrônico de sinais. Entretanto, os sinais entregues aos outros

três subwoofers são submetidos a atrasos eletrônicos. O objetivo agora é sincronizar as ondas acústicas na parte traseira do arranjo. Os sinais entregues ao subwoofer traseiro têm a fase rotacionada em 180° . E é precisamente essa mescla de processamento que promove a atenuação na parte traseira do conjunto. Aliás, a intenção da técnica Quasi Endfire é exatamente maximizar essa atenuação. Veja os resultados disso na figura 7.66.

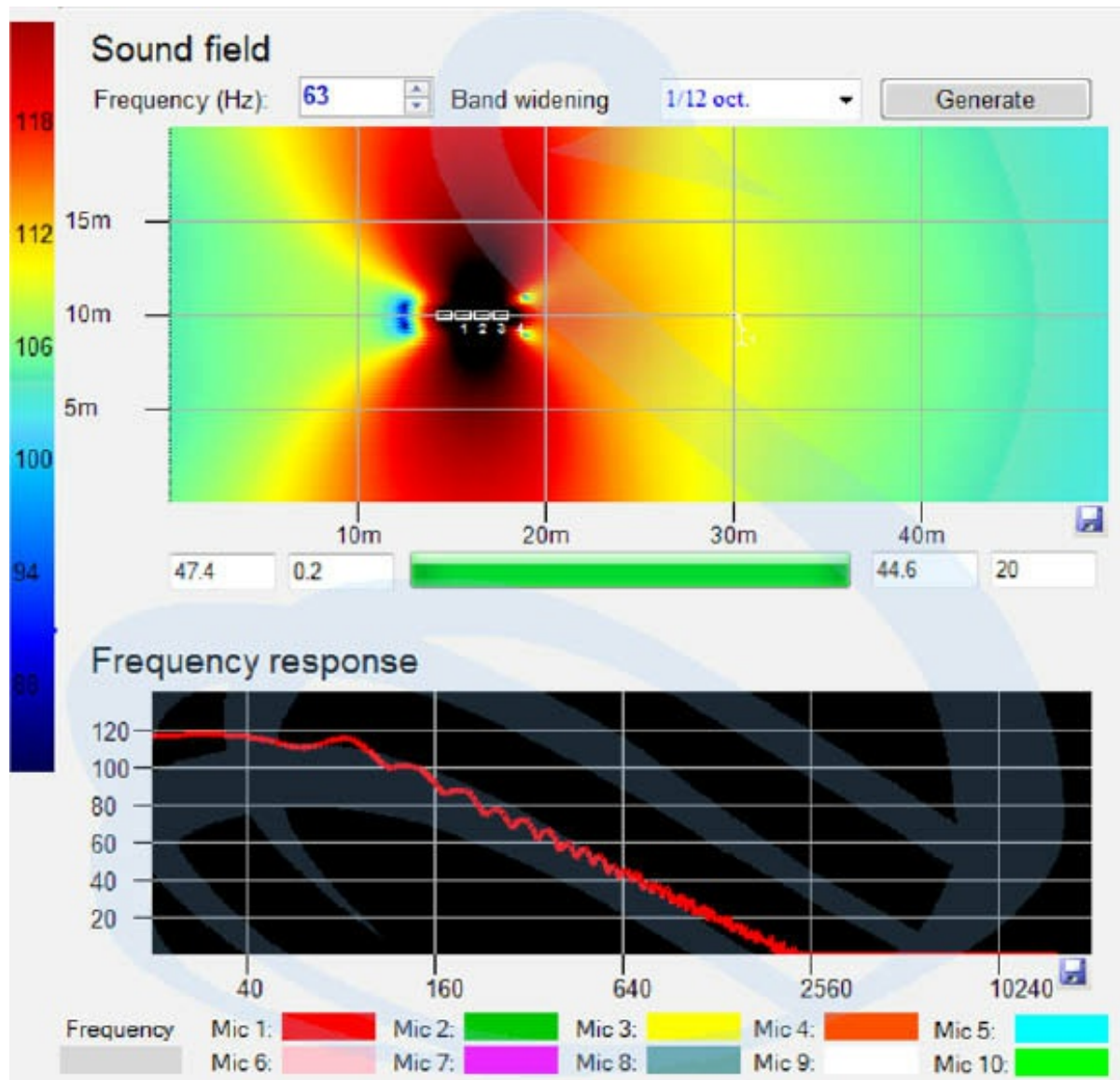


figura 7.66 distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo Quasi Endfire da figura 7.65

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.67 mostra um arranjo Quasi Endfire Composto, porquanto a figura 7.68 mostra os correspondentes resultados acústicos.

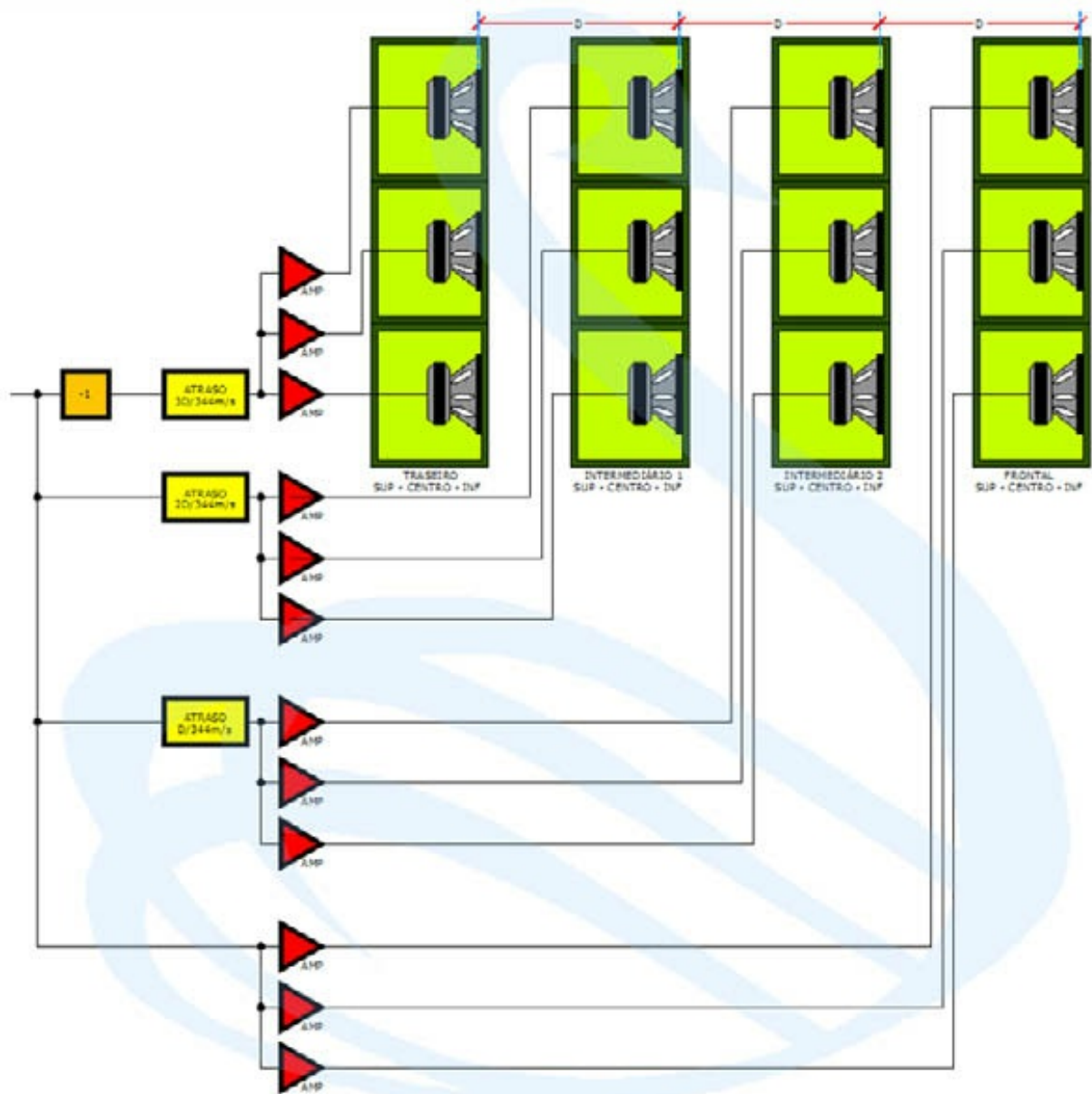


figura 7.67 arranjo Quasi Endfire Composto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

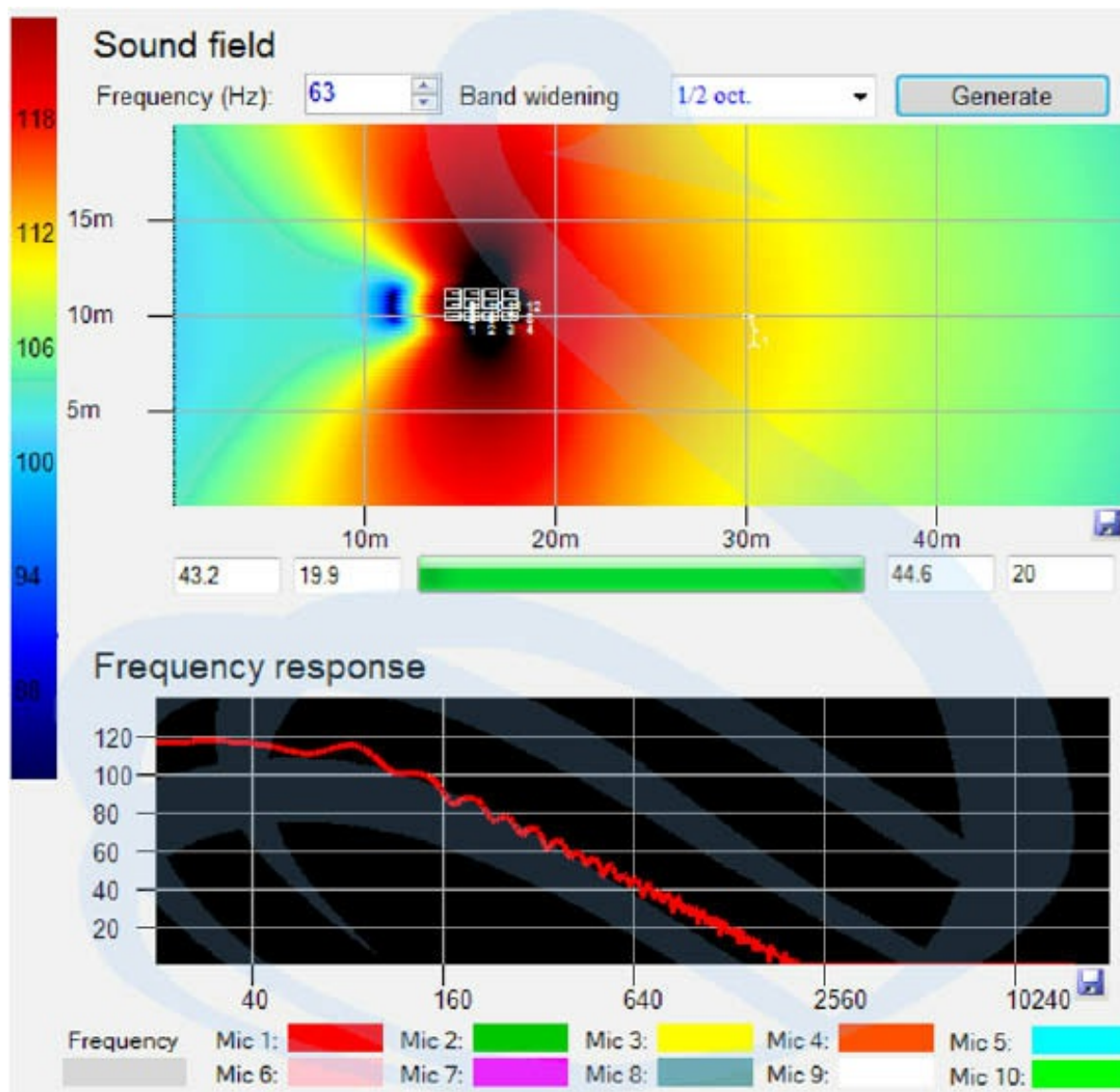


figura 7.68 resultados acústicos do arranjo Quasi Endfire Composto da figura 7.67
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Também é possível empregar o arranjo Quasi Endfire com espaçamento variável, o que dá origem ao arranjo Quasi Endfire Log Periódico, como ilustra a figura 7.69.

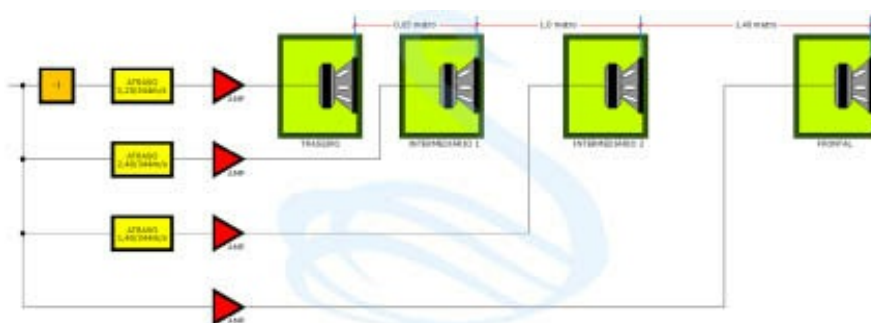


figura 7.69 arranjo Quasi Endfire Log Periódico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja na figura 7.70 como fica distribuído o campo de som do arranjo da figura 7.69.

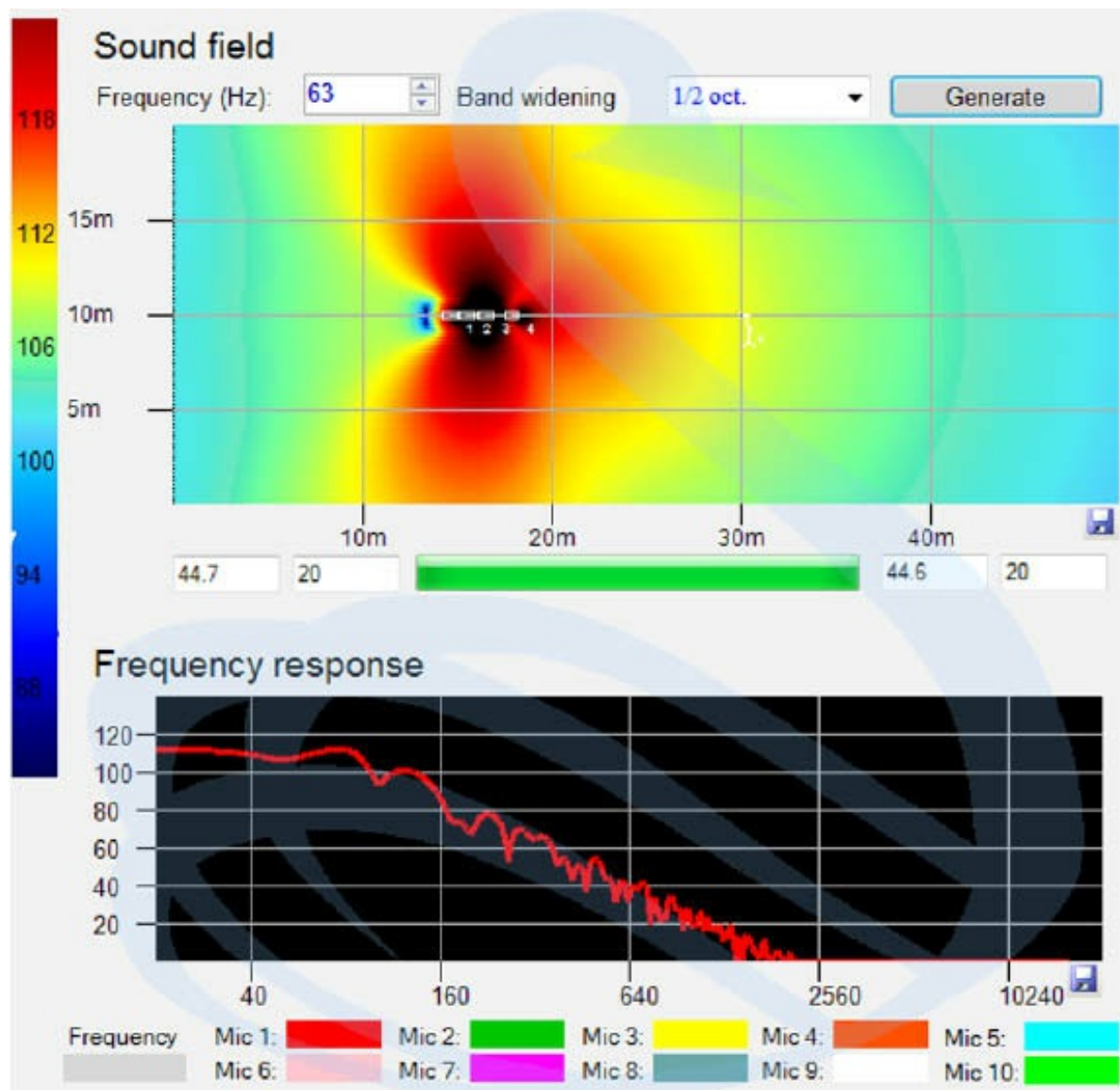


figura 7.70 resultados acústicos do arranjo Quasi Endfire Log Periódico da figura 7.69 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para manter coerência com as demais figuras aqui a frequência escolhida também é 60 Hz e a banda operacional é de uma oitava plena.

A figura 7.71 mostra um arranjo **Quasi Endfire Log Periódico Composto**, porquanto a figura 7.72 exhibe a correspondente distribuição de campo sonoro e resposta de frequência.

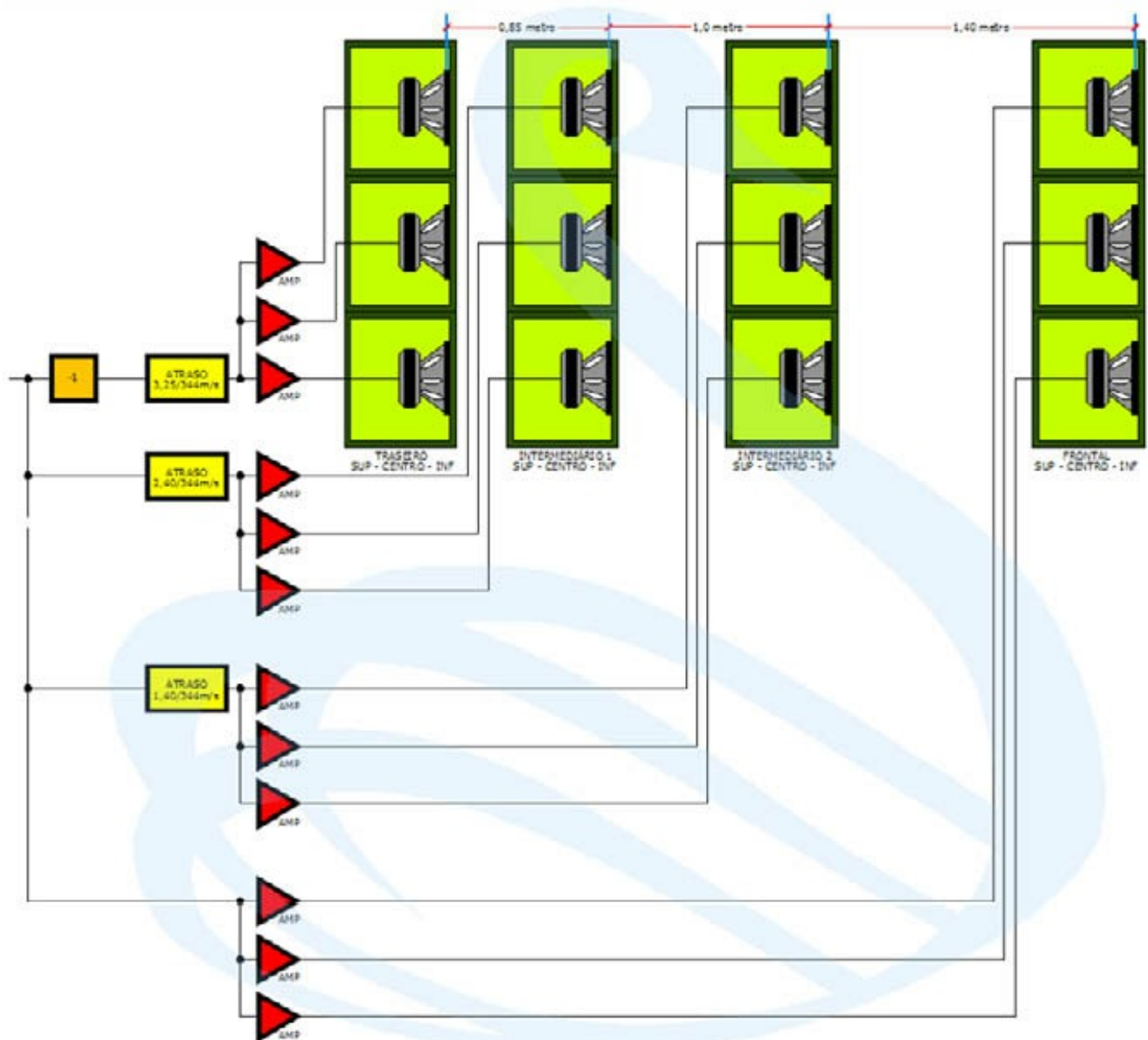


figura 7.71 arranjo de subwoofers consoante técnica Quasi Endfire Log Periódico Composto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

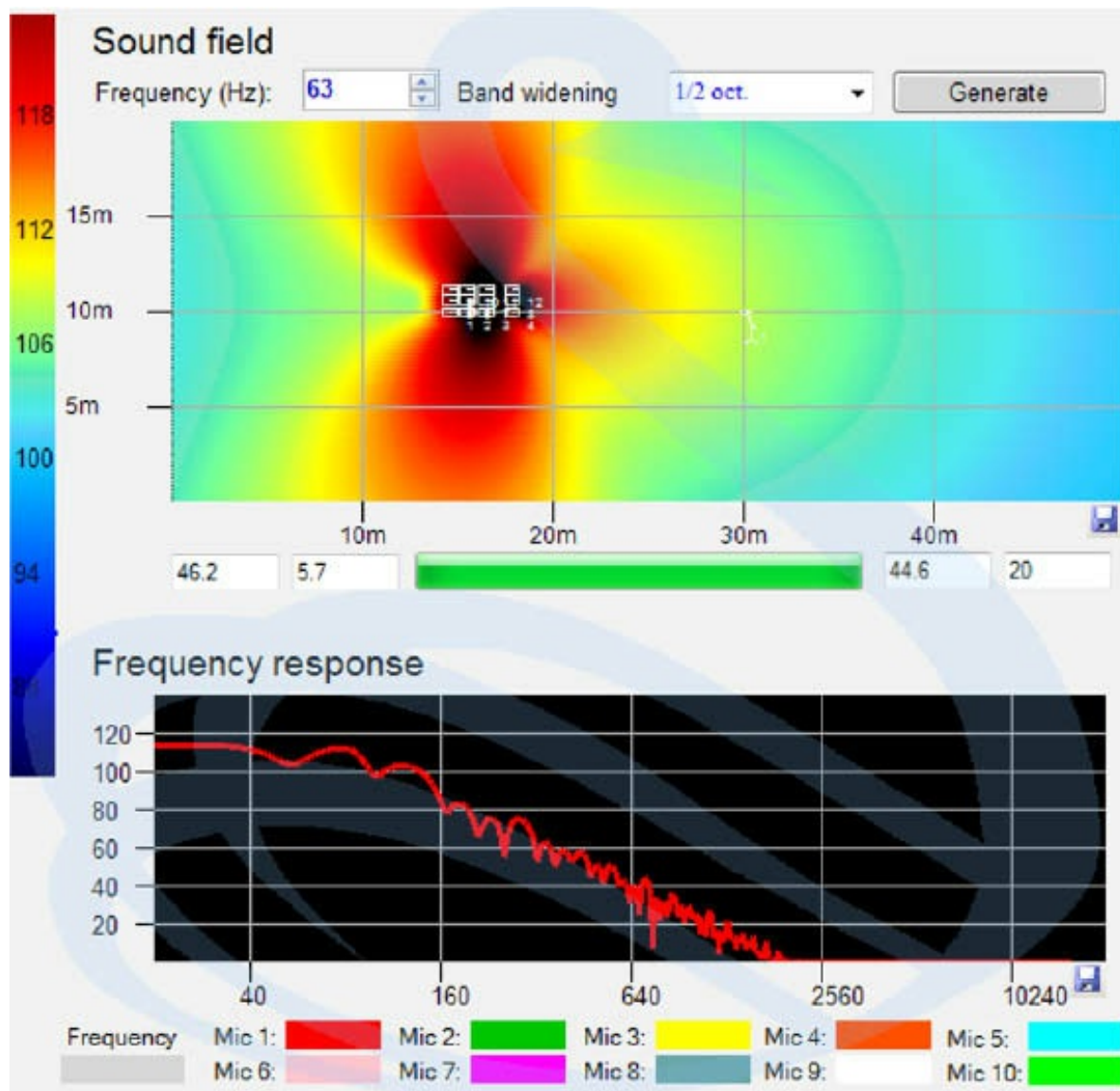


figura 7.72 resultados acústicos do arranjo Quasi Endfire Log Periódico Composto da figura 7.71 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para concluir os arranjos Endfire e Quasi Endfire, ambos podem ser montados com quaisquer quantidades de subwoofers, sendo as alternativas mais comuns as com três, quatro e seis gabinetes. A figura 7.73 dá uma boa ideia do visual resultante de um arranjo Endfire com seis subwoofers que faz parte de um projeto que estou elaborando neste momento para um cliente que necessita precisamente dessa solução.

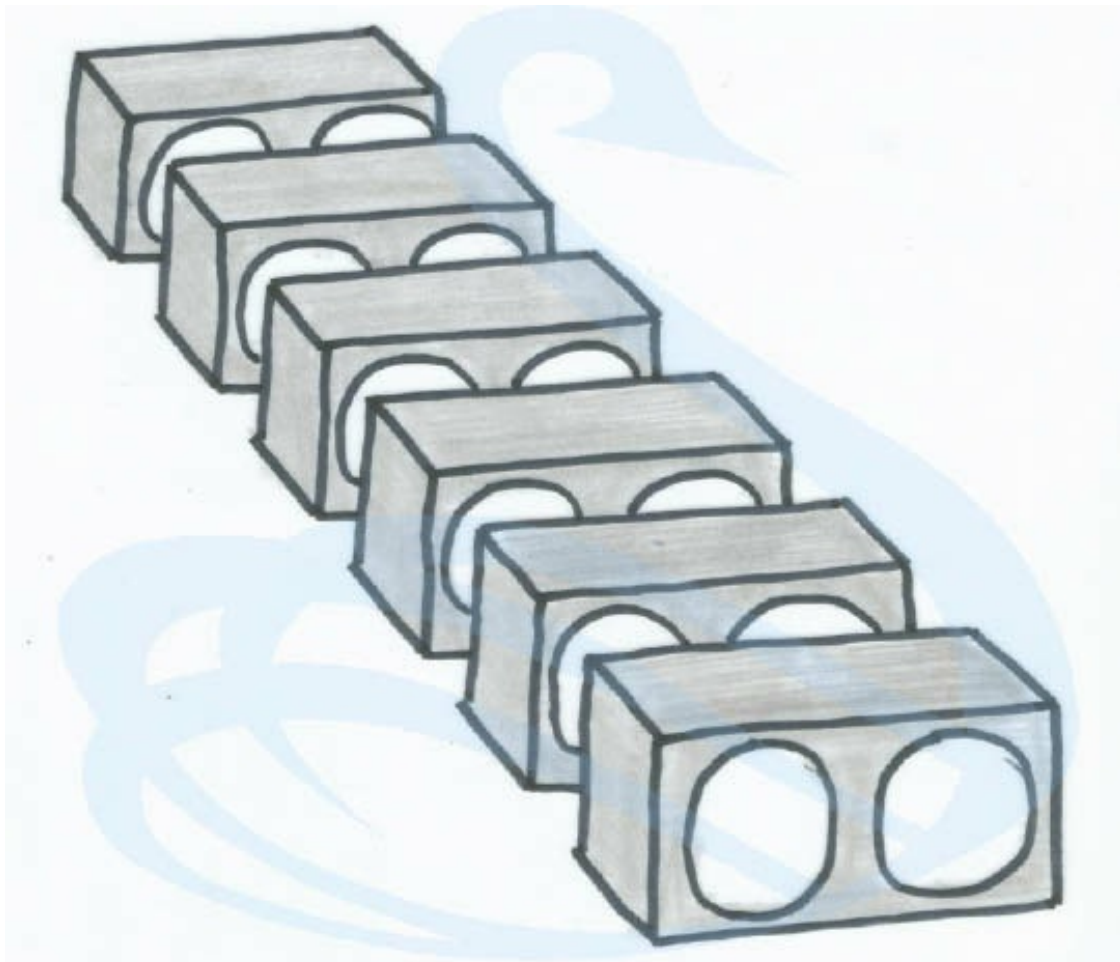


figura 7.73 arranjo de 6 subwoofers que serão organizados conforme técnica Quasi Endfire Log Periódico Composto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 7.4.6 Linha Delta (Delta Array) Os arranjos chamados de Linha Delta correspondem a uma pequena modificação dos arranjos da Linha Gradiente. Para que se tenha uma ideia bem real da linha Delta veja a figura 7.74.

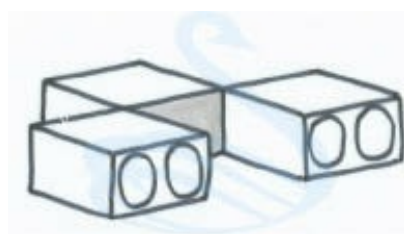


figura 7.74 arranjo de subwoofer consoante técnica Linha Delta acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.75 é o esquema de interligações do arranjo da figura 7.74. Observe que os sinais enviados para os dois subwoofers frontais não sofrem nenhum processamento. Mas os sinais enviados para o subwoofer traseiro sofrem rotação de fase de 180º bem como atraso eletrônico de sinais. O objetivo é sincronizar as ondas acústicas na parte traseira do arranjo.

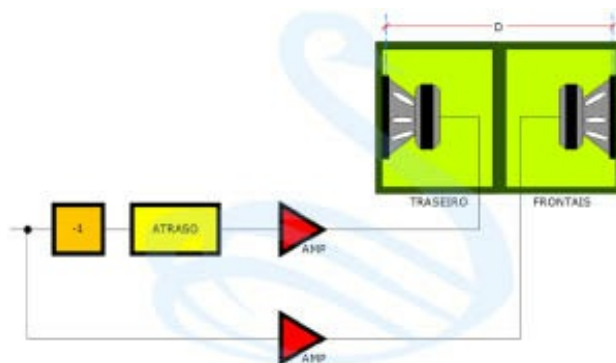


figura 7.75 esquema de interligações do arranjo da figura 7.74 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.76 mostra como se distribui o campo acústico e que resposta de frequência se pode esperar do arranjo da figura 7.74 com o esquema da figura 7.75.

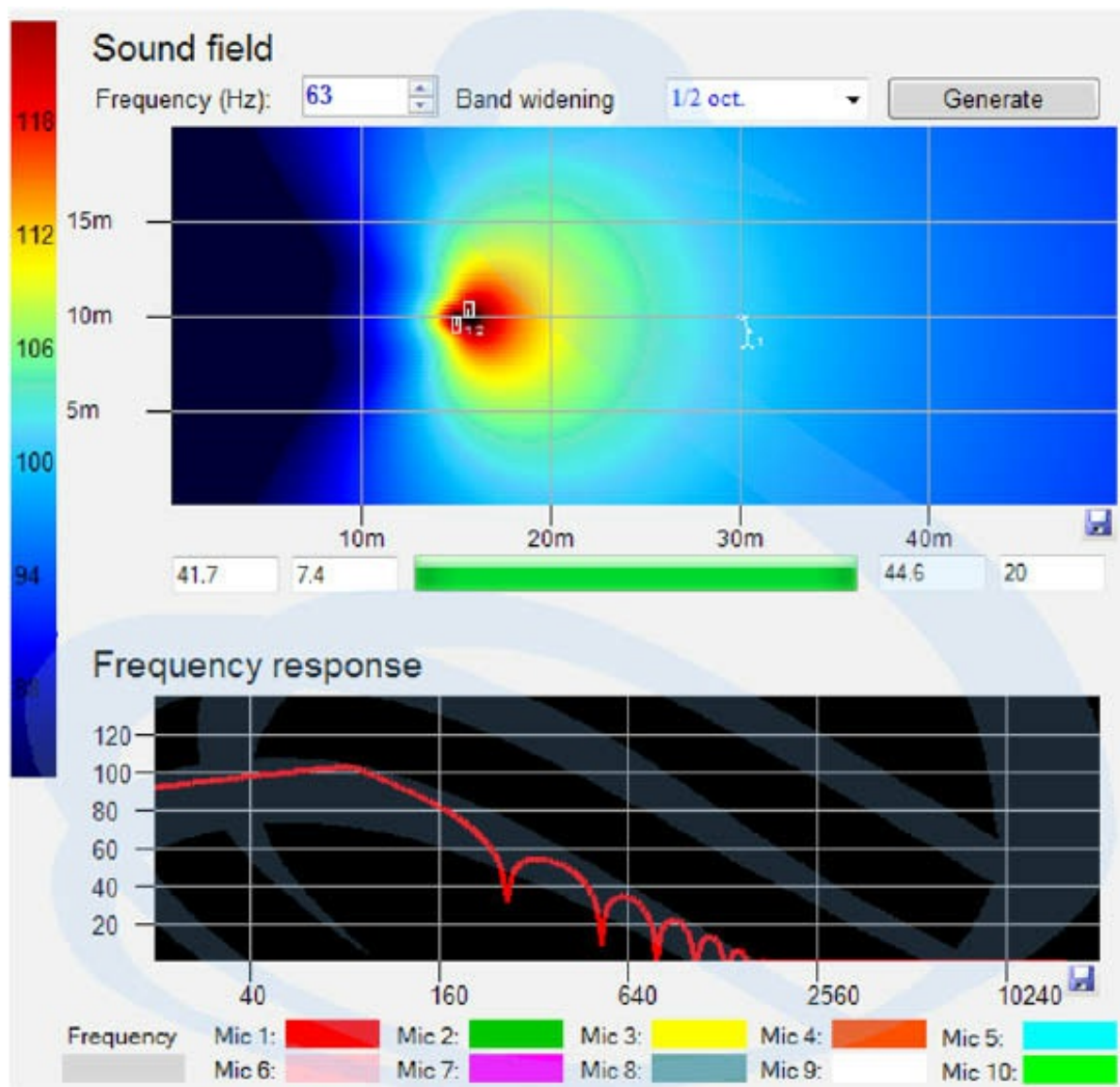


figura 7.76 campo acústico e resposta de frequência do arranjo Linha Delta das figuras 7.74 e 7.75 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O que vimos acima foi a ideia de maximizar o cancelamento acústico na parte traseira do arranjo. Mas também é possível modificar o processamento e aplicar atraso aos dois subwoofers frontais, sem introduzir quaisquer inversões de fase, de modo a maximizar o ganho acústico frontal do arranjo.

Pelo que vimos até aqui deve parecer natural que os arranjos Linha Delta Simples também possam evoluir para variantes Compostas. É o que mostra a figura 7.77, que é o arranjo da figura 7.74, mas agora com “4 andares”.

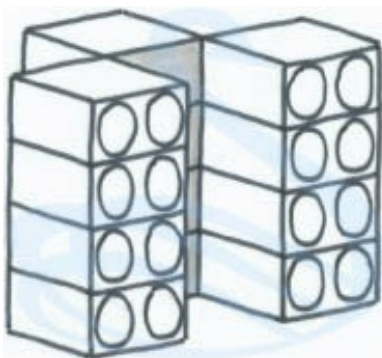


figura 7.77 arranjo Linha Delta Composto com 4 andares de subwoofers acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.78 mostra a distribuição do campo acústico e a resposta de frequência desse arranjo Composto. Os oito subwoofers laterais estão orientados para cima e os quatro centrais estão orientados para baixo. A frequência escolhida é 80 Hz e a banda operacional é de uma oitava plena. O microfone está a cerca de 12,0 metros distante dois subwoofers, na região de mais ganho de energia.

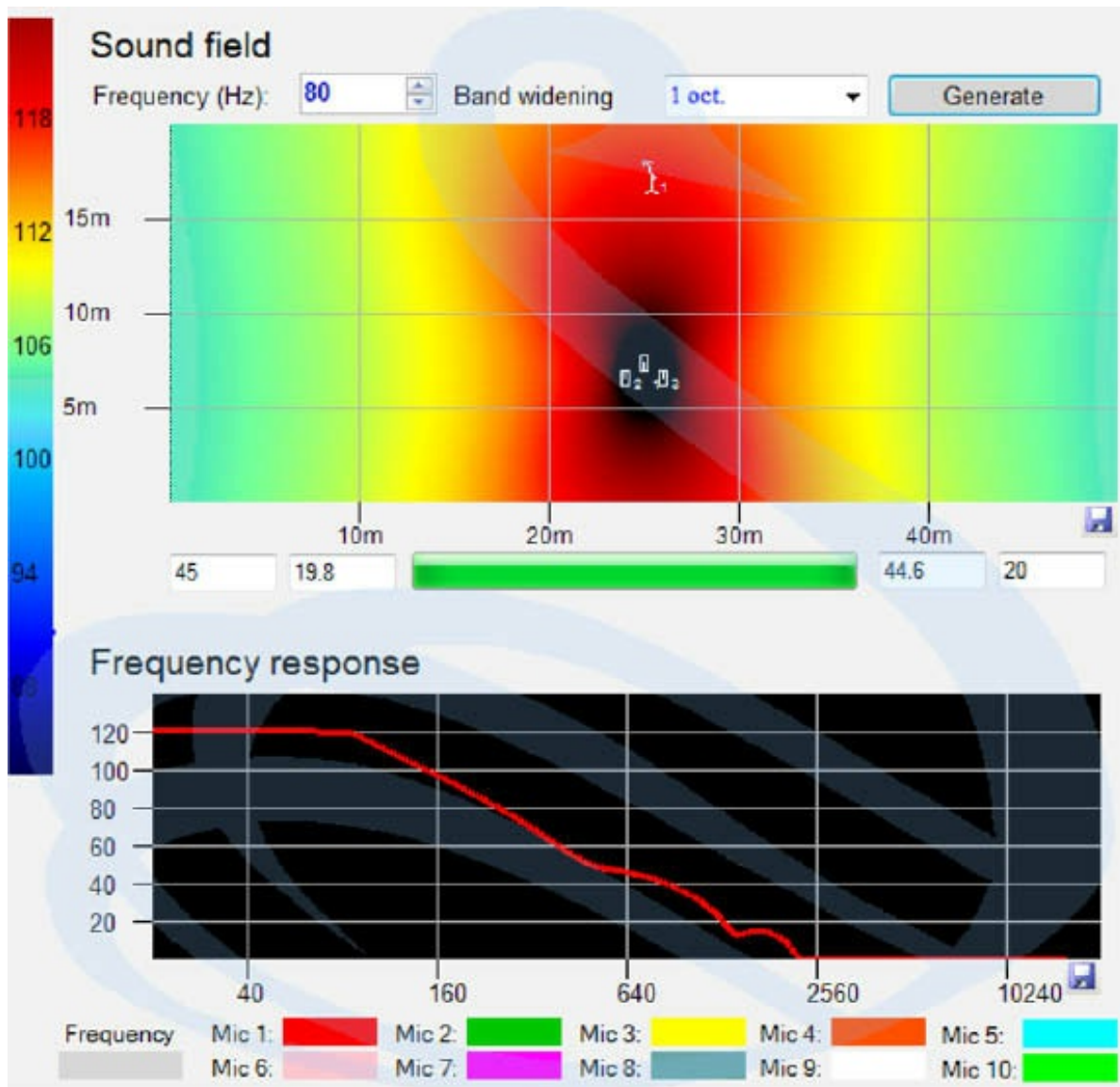


figura 7.78 distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo Linha Delta Composta da figura 7.77

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Lembra-se que mencionei antes o termo “lego”? Foi quando disse que era possível ir montando arranjos mais elaborados a partir de arranjos básicos. Pois bem, isso se aplica integralmente à Linha Delta. Veja um arranjo Linha Delta Composto na figura 7.79.

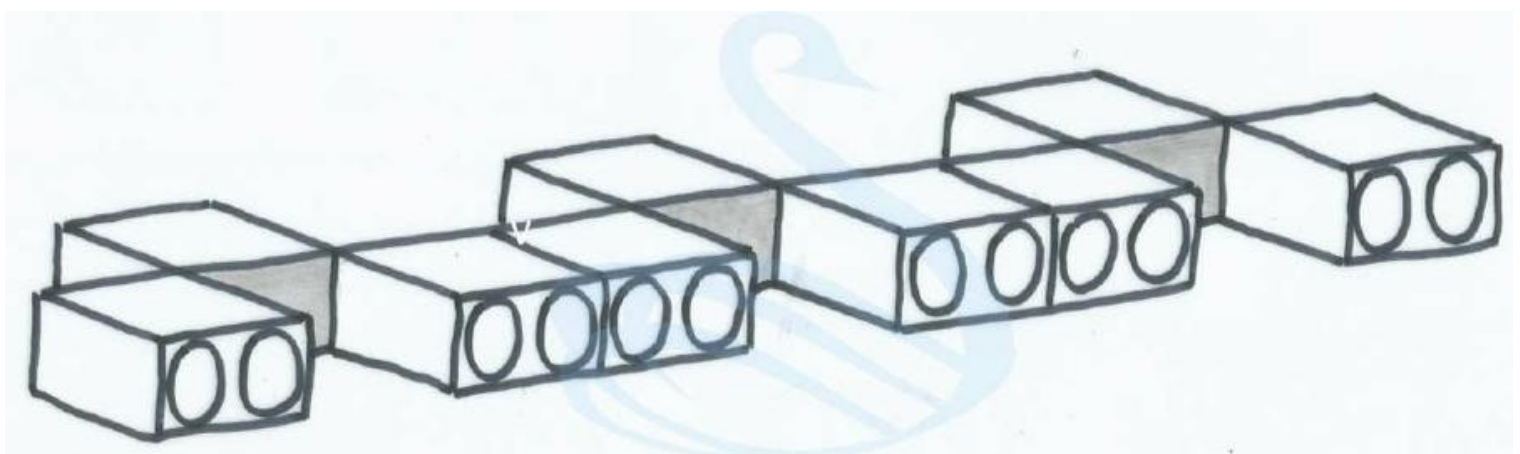


figura 7.79 arranjo de subwoofers em Linha Delta Composta acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

7.4.7 LR (Left Right) Creio que na prática é mais comum ver montagem de subwoofers dos dois lados do palco do que em sua parte central. Essas montagens com subwoofers dos dois lados são denominadas LR, numa alusão aos canais esquerdo e direito, ou Left and Right. Mas é mesmo só uma alusão porque na banda em que os subwoofers trabalham não há nenhuma necessidade de se processar estereofonia. Os ouvidos preferem reproduções monofônicas nessa banda.

Vamos começar com uma forma sui generis de LR, que são os dois subwoofers encostados

um no outro, como na figura 7.80.



figura 7.80 arranjo de 2 subwoofers em técnica LR encostados um ao outro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A simulação do correspondente campo acústico e resposta de frequência é como na figura 7.81.

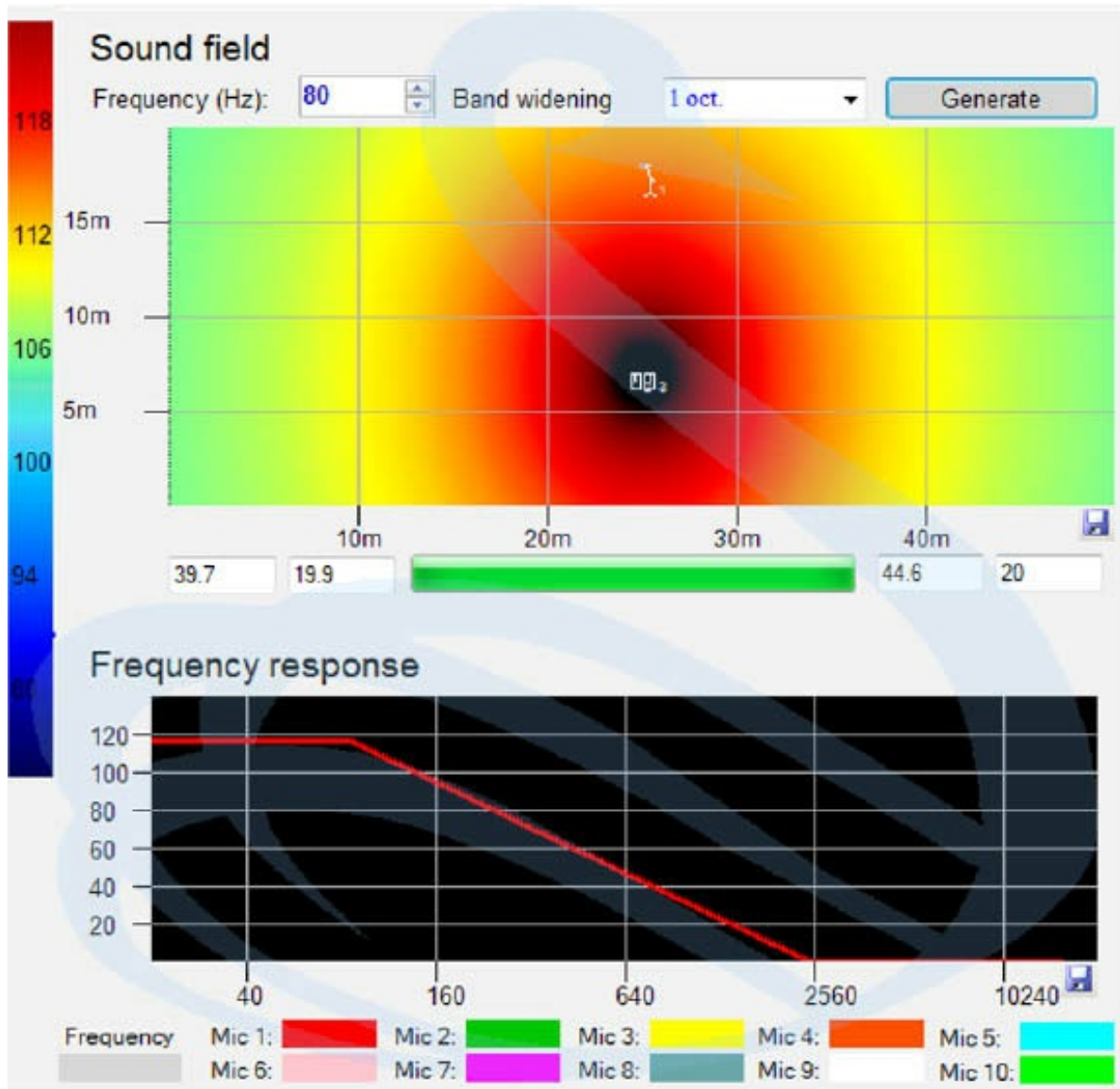


figura 7.81 campo acústico e resposta de frequência do arranjo de 2 subwoofers em técnica LR encostados entre si como na figura 7.80

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 7.82 os dois subwoofers aparecem afastados da distância "D".

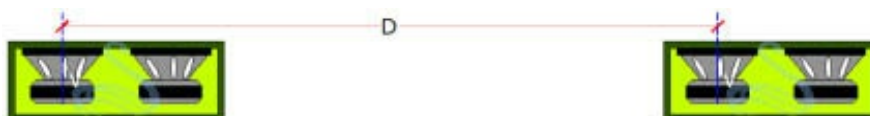


figura 7.82 arranjo de 2 subwoofers em técnica LR com afastamento D acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para termos uma ideia sólida do que ocorre quando fazemos variar essa distância, fiz a simulação do arranjo para as seguintes distâncias:

- 1,0 metro figura 7.83
- 2,0 metros figura 7.84
- 4,0 metros figura 7.85
- 6,0 metros figura 7.86

- 8,0 metros figura 7.87
- 10,0 metros figura 7.88
- 12,0 metros figura 7.89
- 15,0 metros figura 7.90
- 20,0 metros figura 7.91

Sei que é muita simulação. Mas não vejo como transferir o entendimento e o discernimento do que ocorre no mundo real quando se faz variar a distância D sem que haja base substancial e vigorosa, além de palpável e compreensível.

Para interpretar as figuras 7.83 a 7.91, entenda que os dois subwoofers estão orientados para cima, que pode-se considerar a região da plateia, porquanto abaixo dos subwoofers seria a região do palco.

Para todas as figuras a frequência escolhida é 63 Hz e a banda operacional é $\frac{1}{2}$ oitava. O microfone de teste está localizado entre os dois subwoofers, com distância aproximada de 11,0 metros da linha dos subwoofers. Em todas as figuras o mapa colorido na parte superior mostra a distribuição do campo de som gerado no recinto pelos dois subwoofers. O gráfico na parte inferior das figuras mostra a resposta de frequência da montagem estimada na posição do microfone de teste.

Vamos lá então?

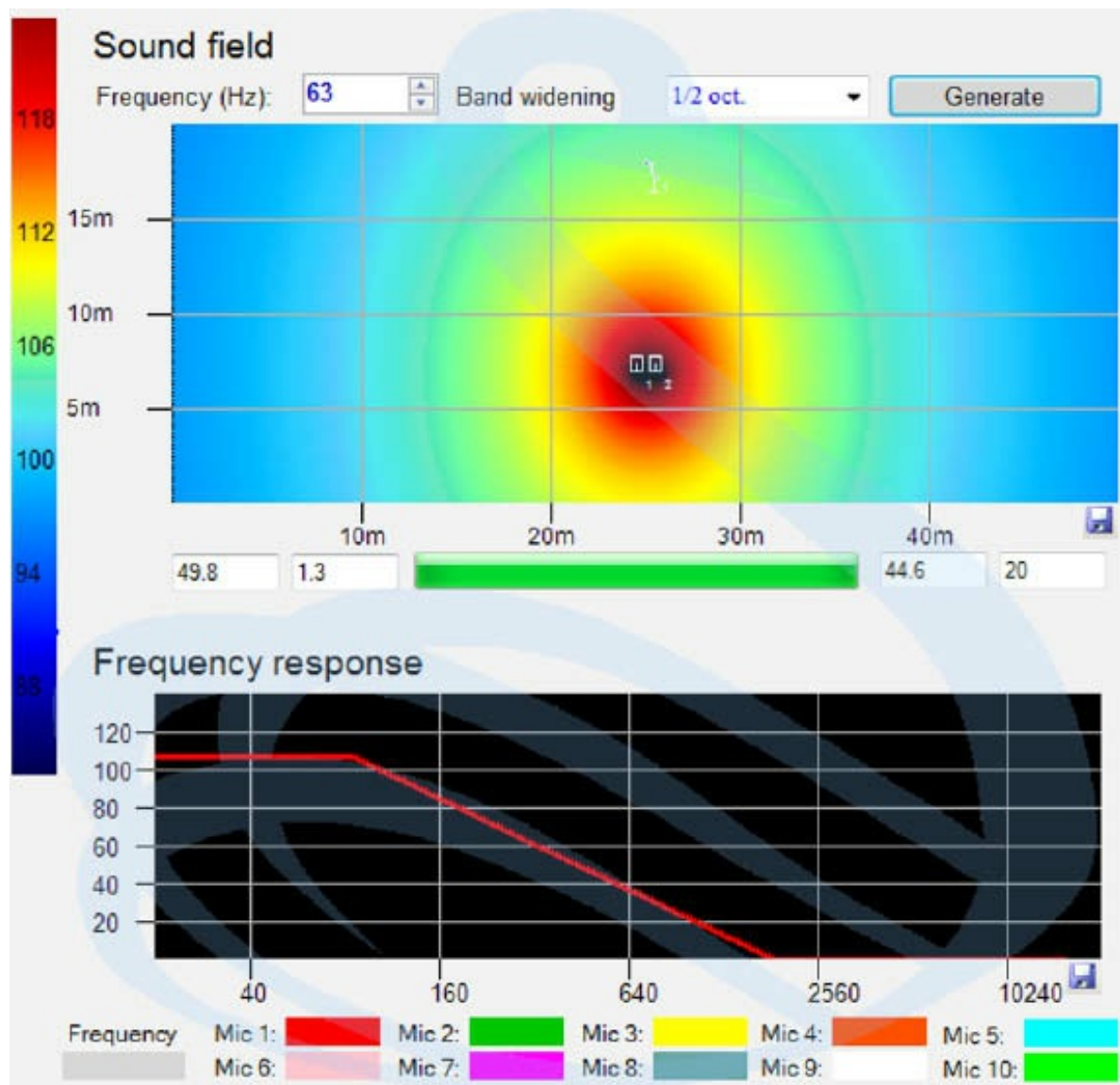


figura 7.83 campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com $D = 1$ metro acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

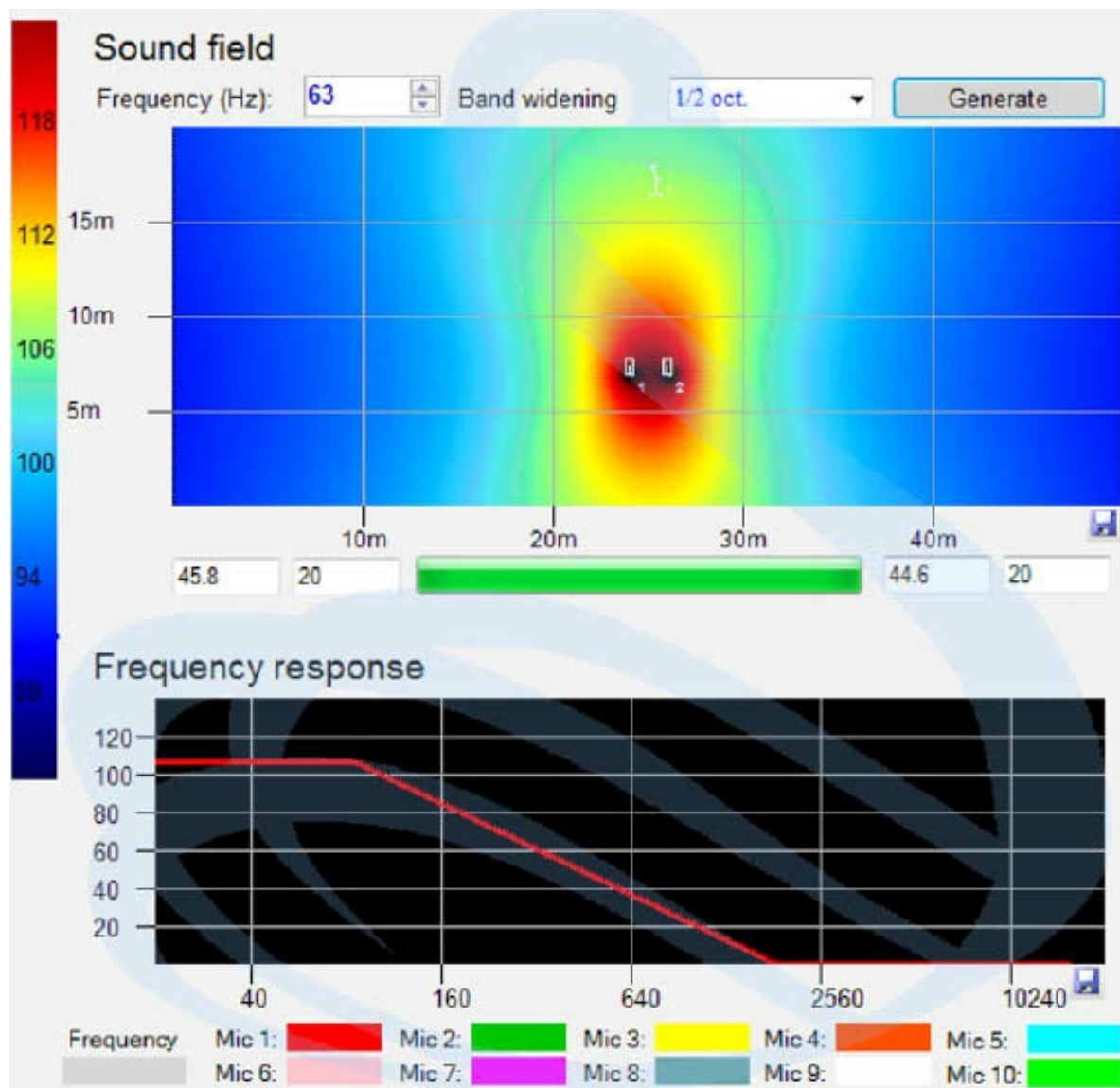


figura 7.84 campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com $D = 2$ metros acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

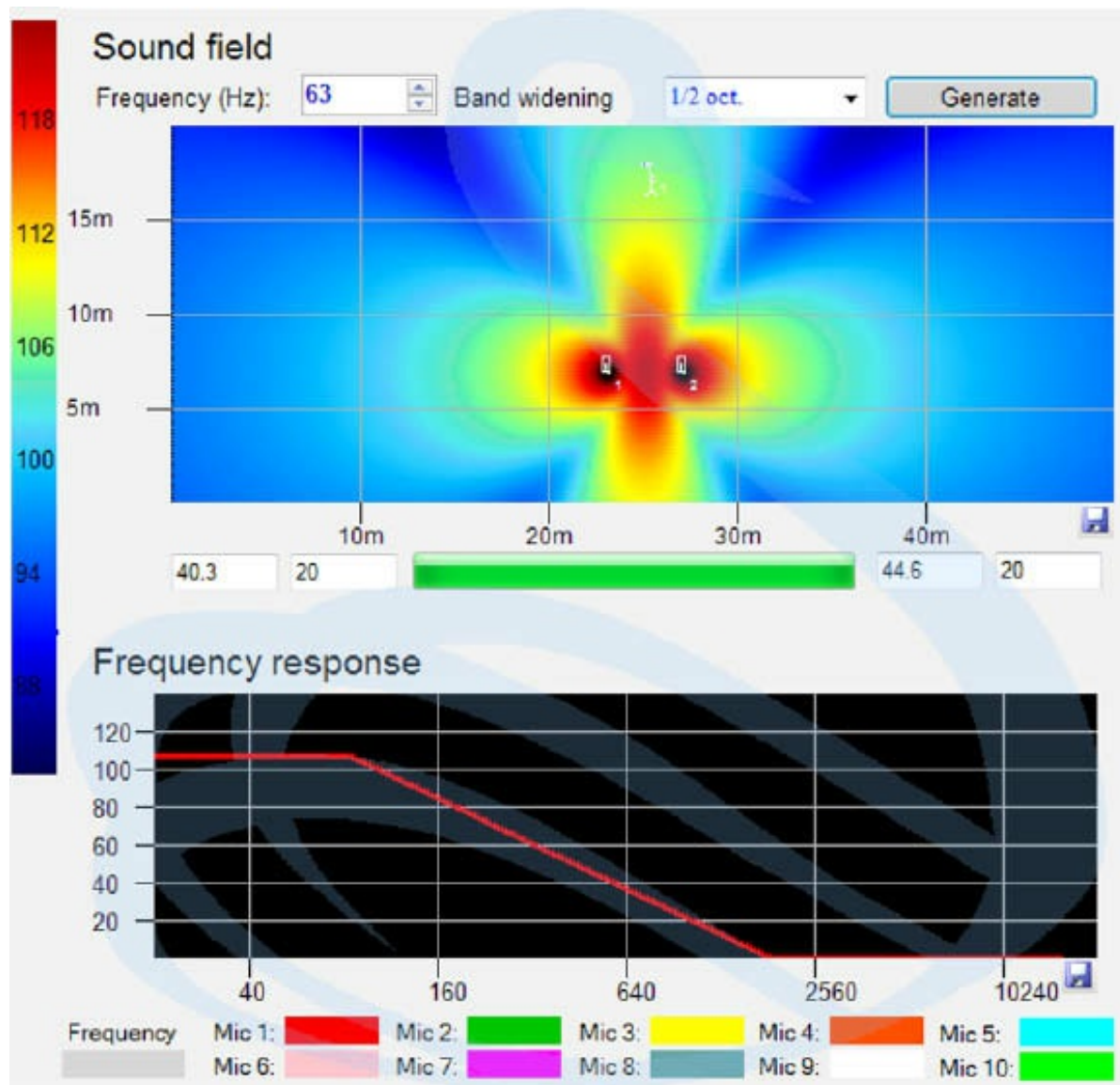


figura 7.85 campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com $D = 4$ metros acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

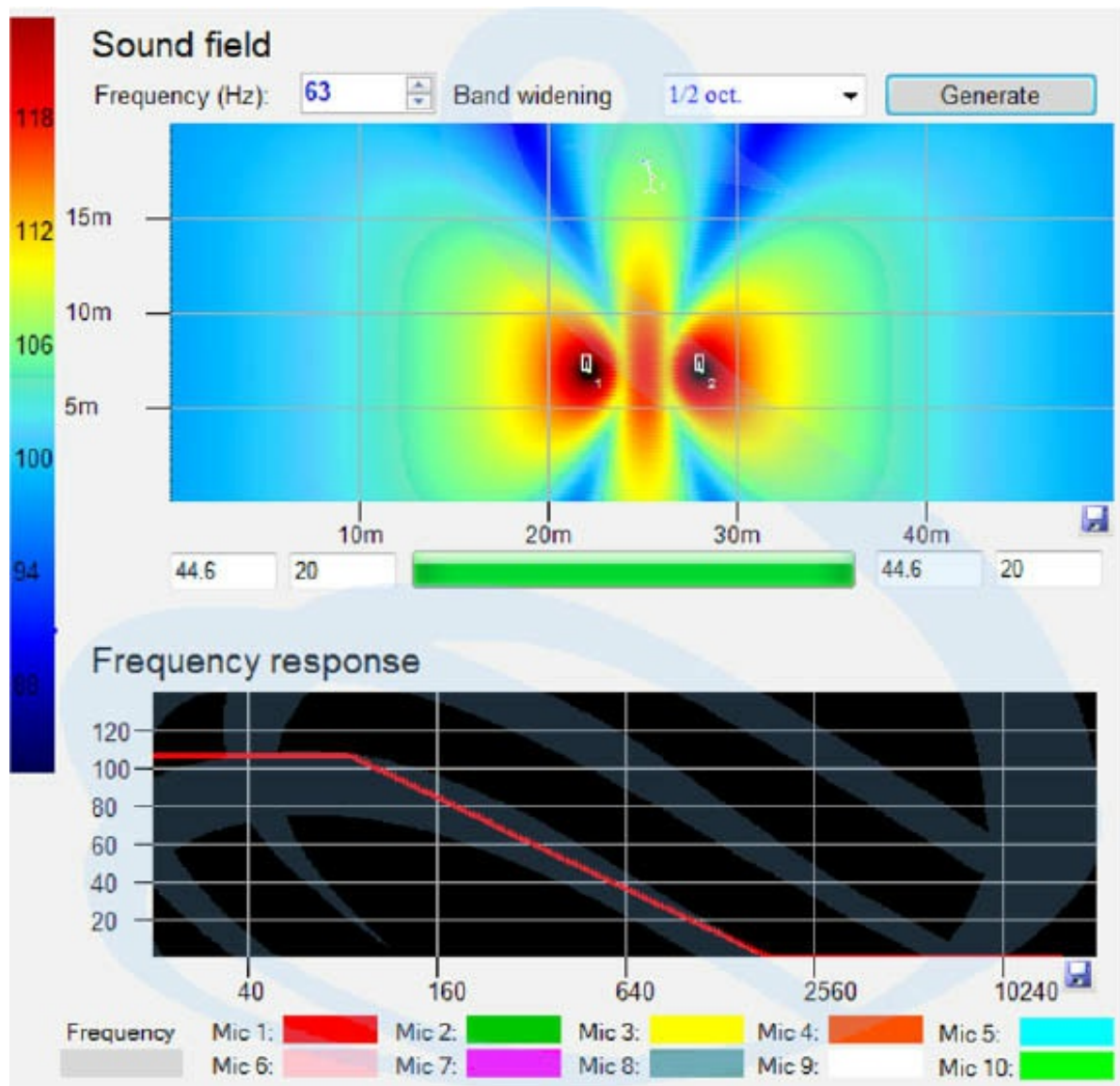


figura 7.86 campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com $D = 6$ metros acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

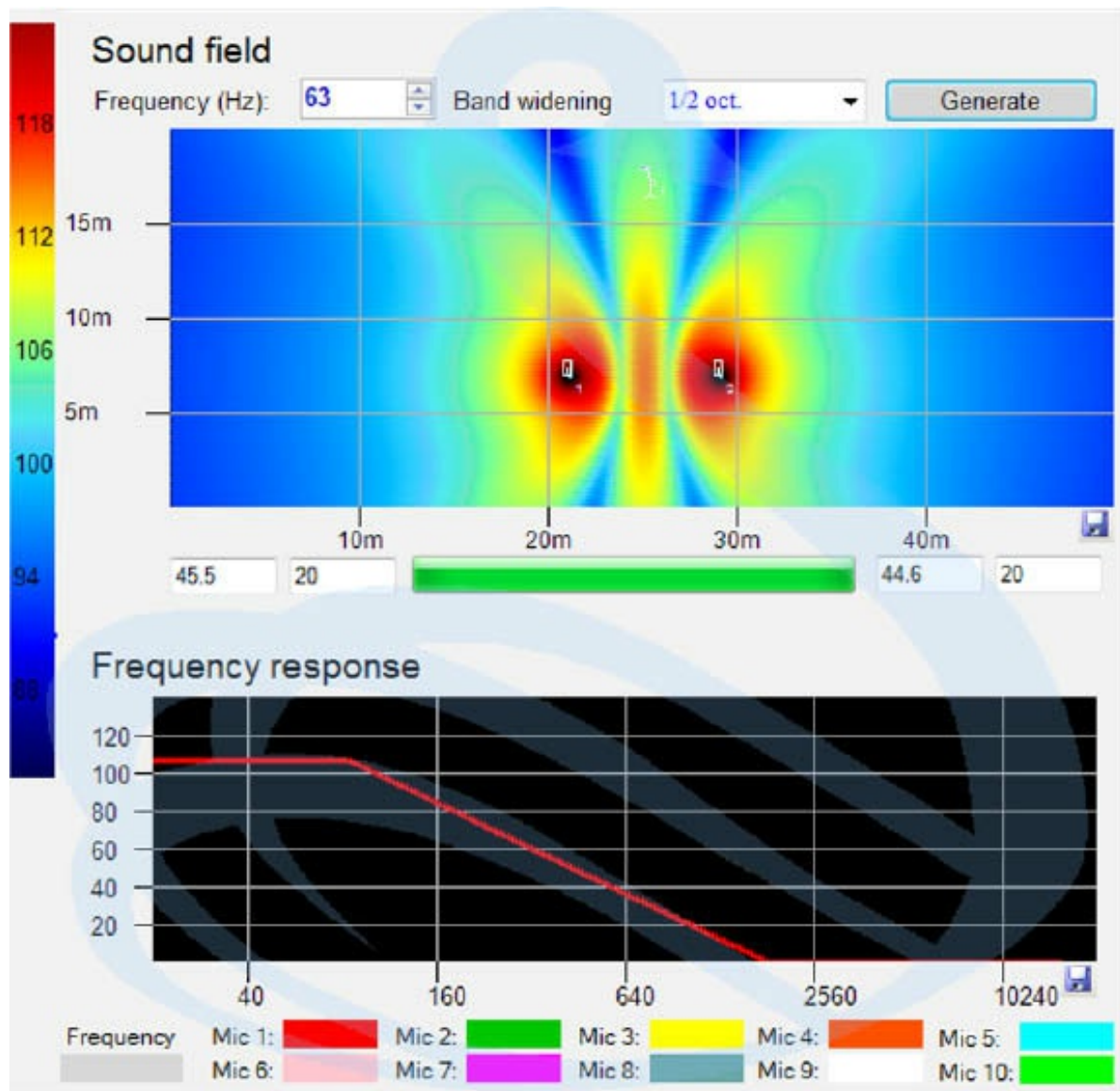


figura 7.87 campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com $D = 8$ metros acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

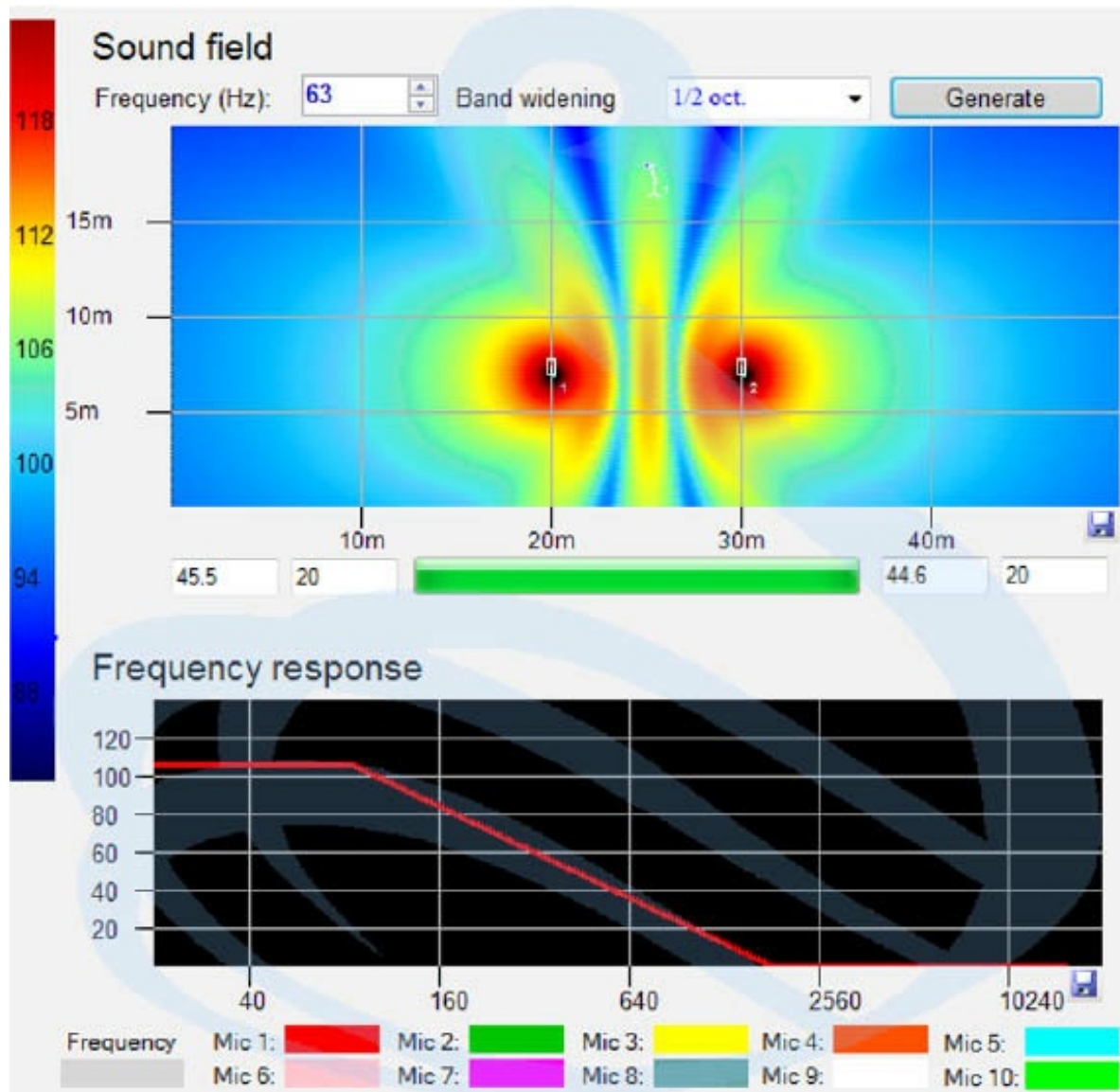


figura 7.88 campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com $D = 10$ metros
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

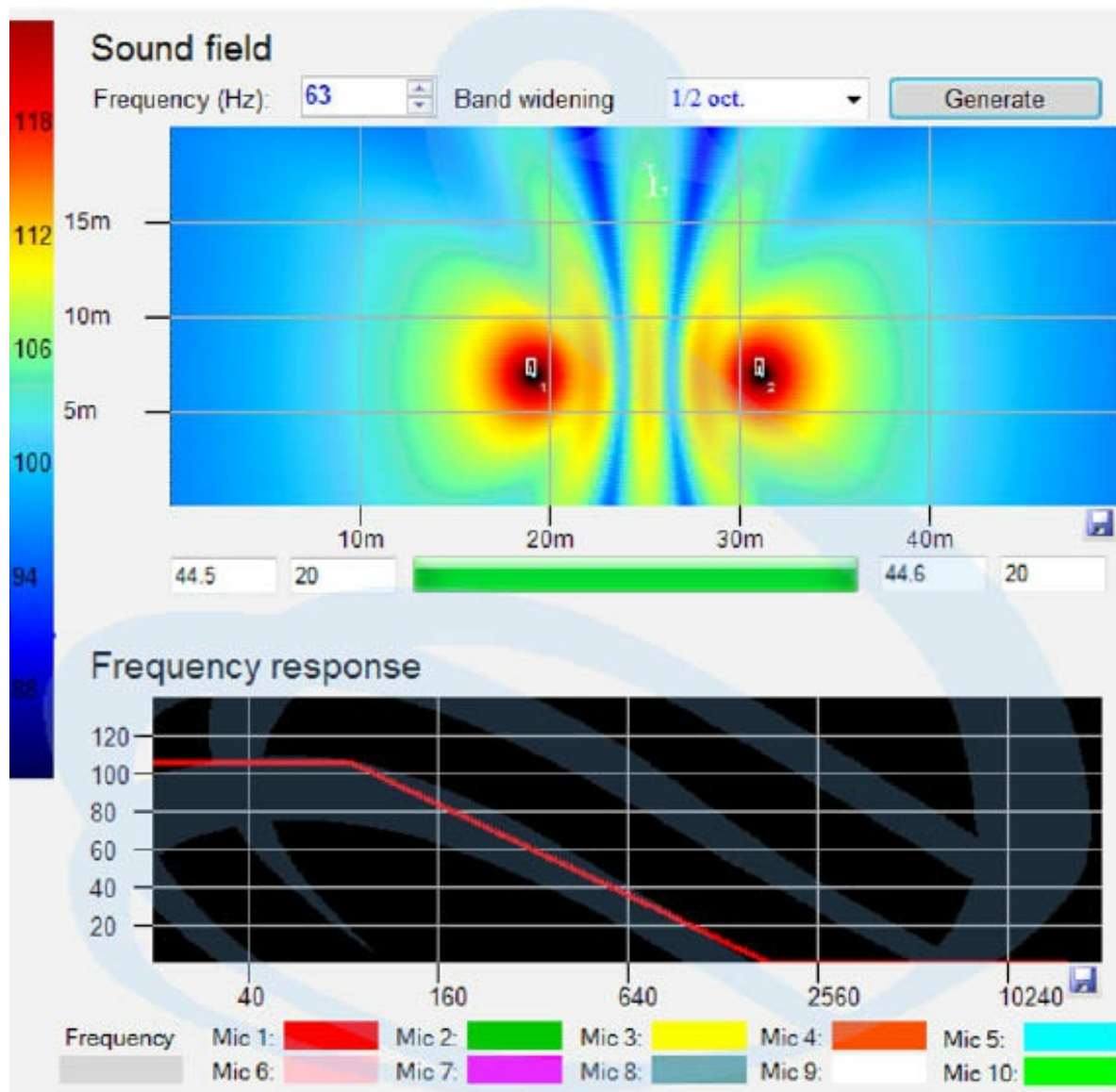


figura 7.89 campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com $D = 12$ metros
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

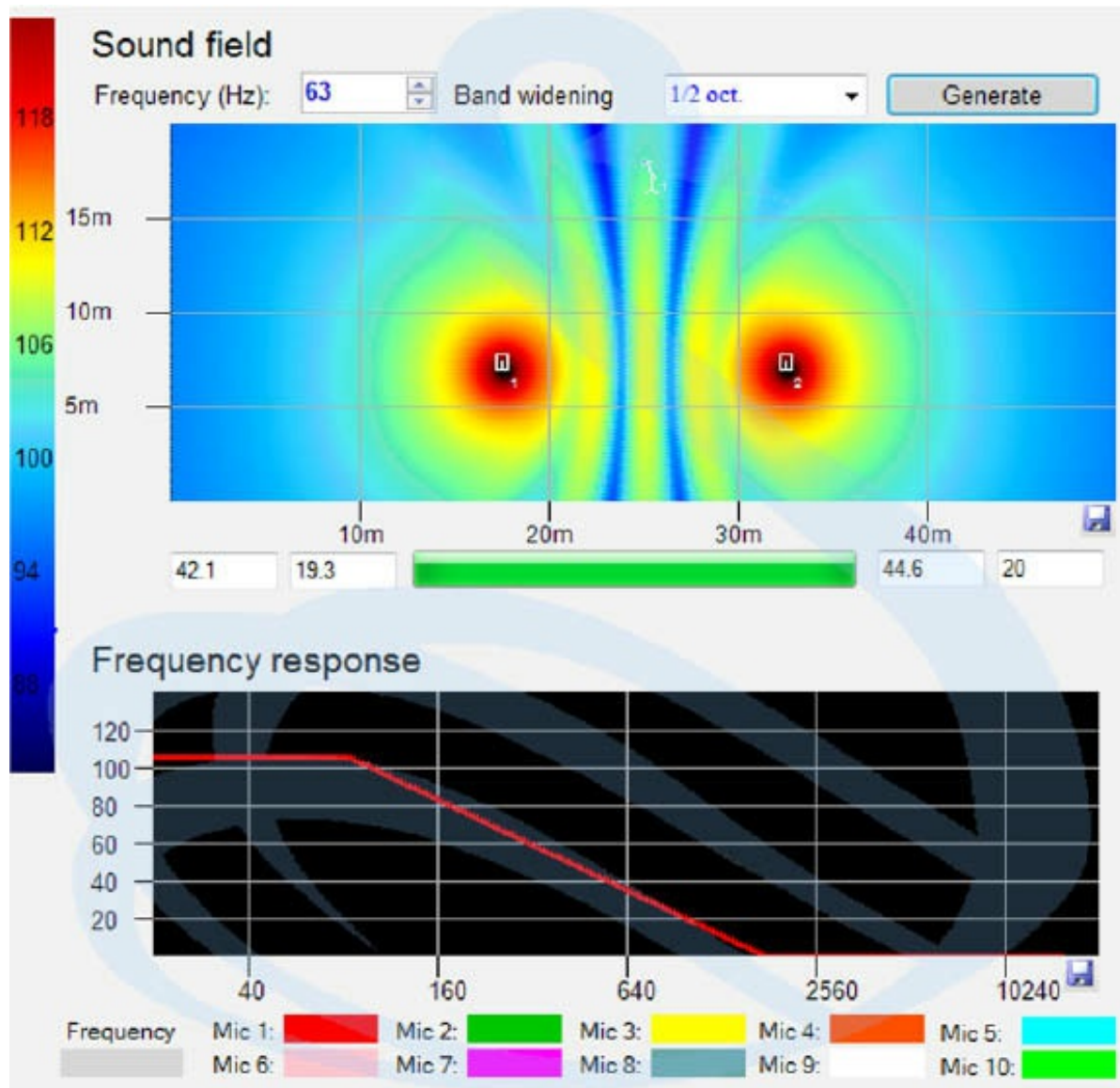


figura 7.90 campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com $D = 15$ metros
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

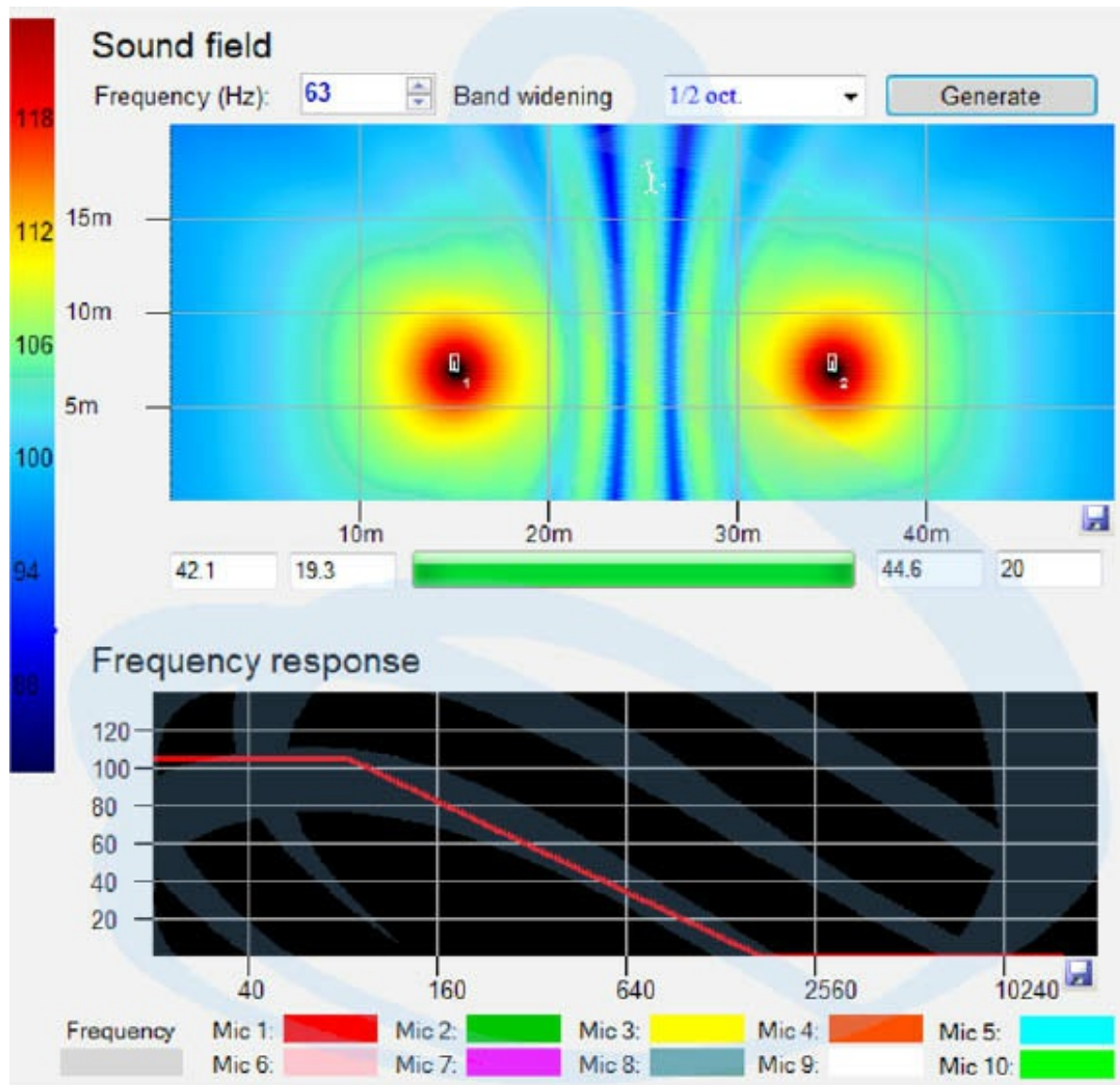


figura 7.91 campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com $D = 20$ metros acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Por favor, gaste um bom tempo analisando as variações de cada afastamento diferente, de como se processa essa dinâmica à medida que o afastamento aumenta e, procurando mentalizar o resultado acústico de instalações reais. Se você tiver a oportunidade de fazer esses exercícios ao vivo, num palco, não perca a chance. Ela pode não voltar mais.

Na sequência, quero concluir com algumas situações relativamente comuns na prática dos subwoofers LR.

A figura 7.92 mostra dois subwoofers distanciados de 15 metros e a figura 7.93 exhibe os correspondentes resultados acústicos.



figura 7.92 dois subwoofers arranjados consoante técnica LR com distância de 15 metros acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

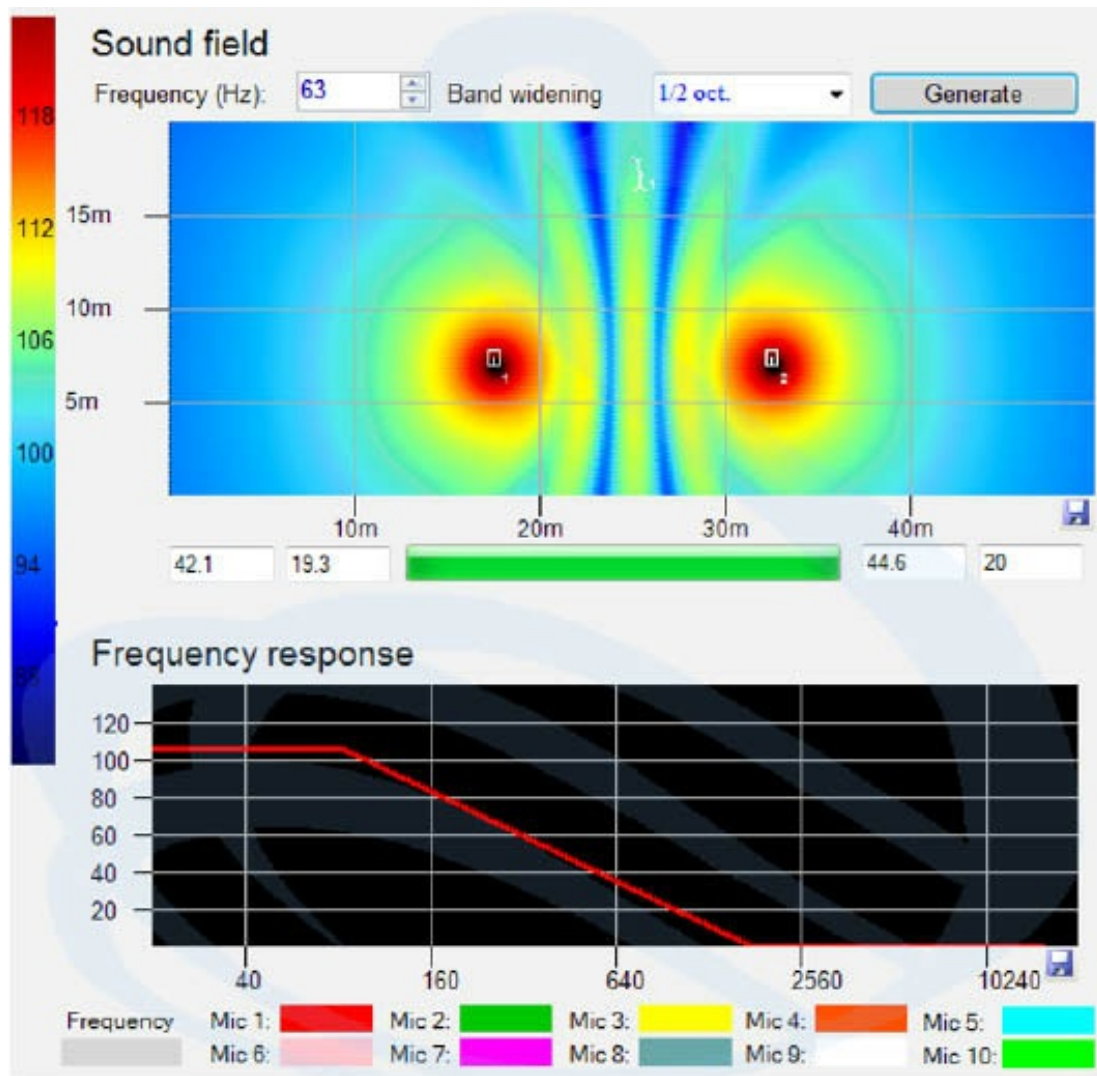


figura 7.93 campo acústico e resposta de frequência para o arranjo de 2 subwoofers LR como na figura 7.92

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.94 é o mesmo arranjo da figura 7.92, porém, agora com os subwoofers angulados em 30º cada um, como fica claro na figura. Já a figura 7.95 mostra os resultados acústicos desse particular arranjo.

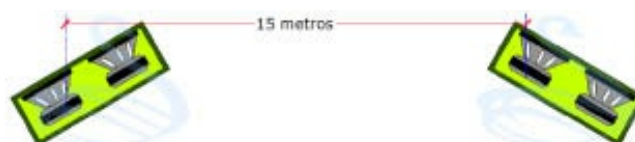


figura 7.94 fatores de ponderação para uma matriz Bessel 7x7 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

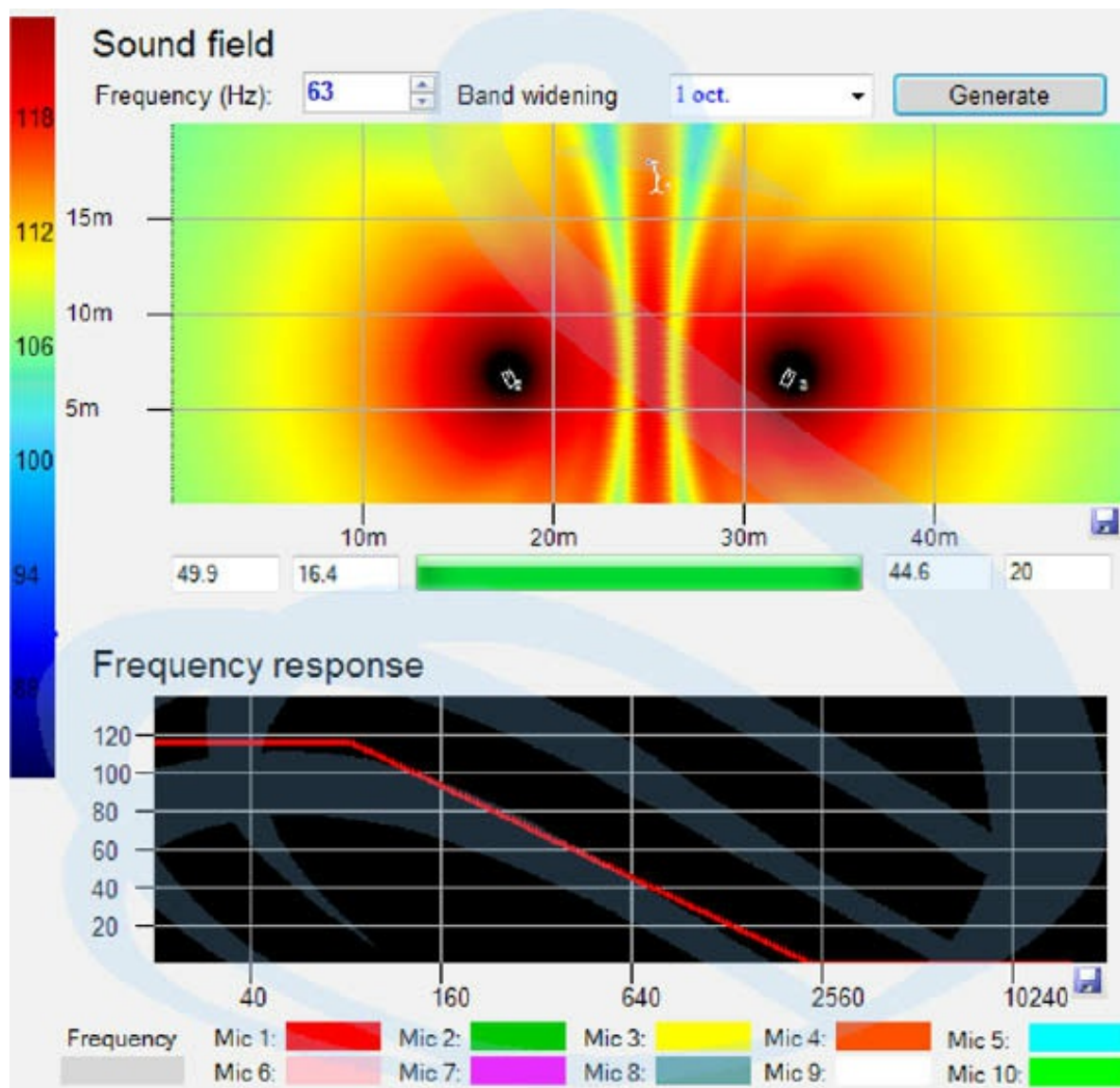


figura 7.95 campo acústico e resposta de frequência para o arranjo de 2 subwoofers LR como na figura 7.94

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 7.96 estão 4 subwoofers de cada lado do palco, todos eles alinhados no mesmo eixo. A figura 7.97 resume os resultados acústicos desse arranjo



figura 7.96 arranjo de 8 subwoofers técnica LR com espaçamento de 15 metros acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

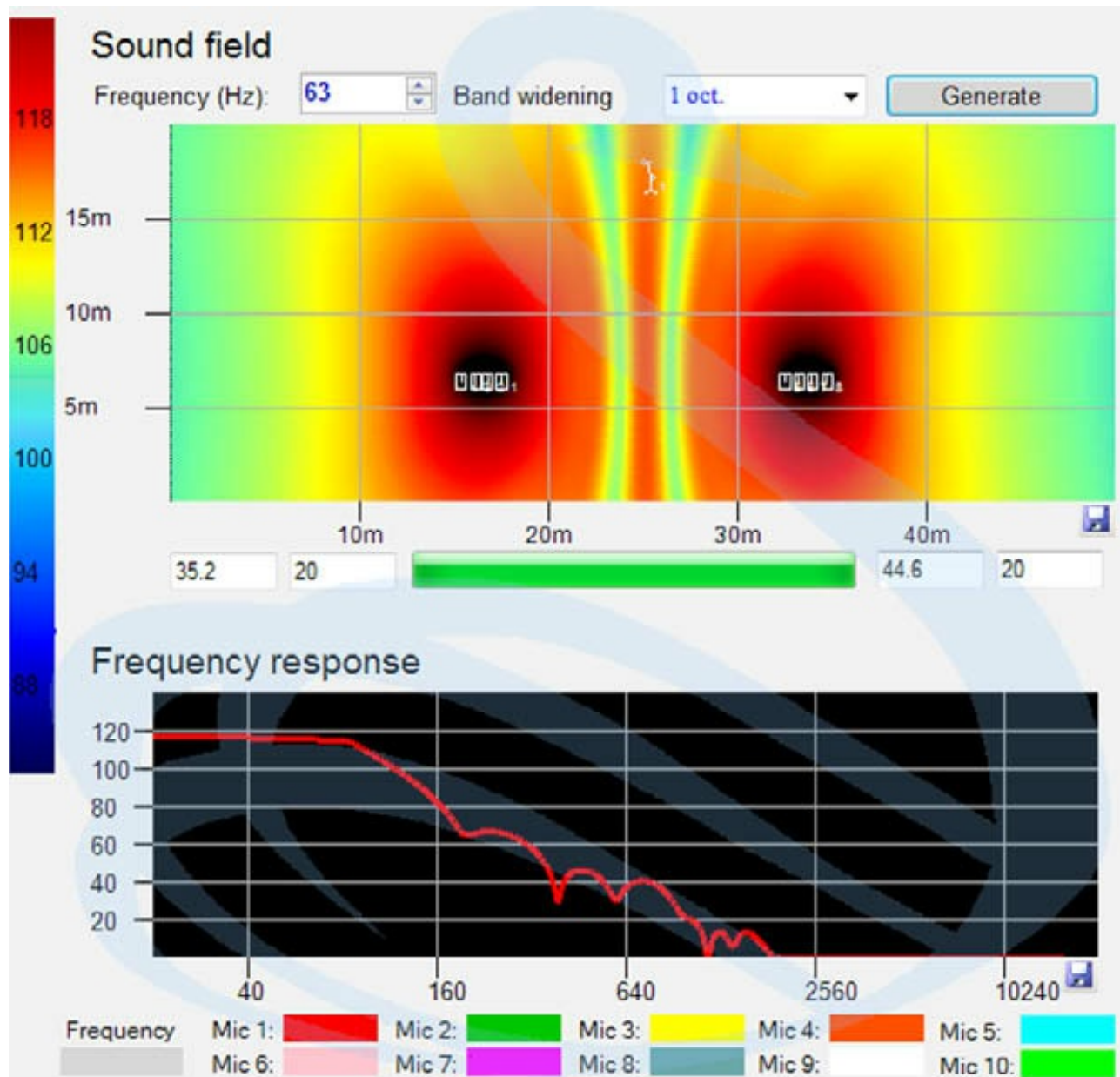


figura 7.97 campo acústico e resposta de frequência para o arranjo de 8 subwoofers LR como na figura 7.96

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O arranjo da figura 7.98 é o mesmo que o da figura 7.96, exceto que cada linha de subwoofers foi angulada em 30°. A figura mostra claramente essa situação porquanto a figura 7.99 é a simulação desse arranjo, exibindo a distribuição do correspondente campo acústico e sua resposta de frequência.



figura 7.98 arranjo de 8 subwoofers técnica LR com espaçamento de 15 metros e angulação de 30°
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

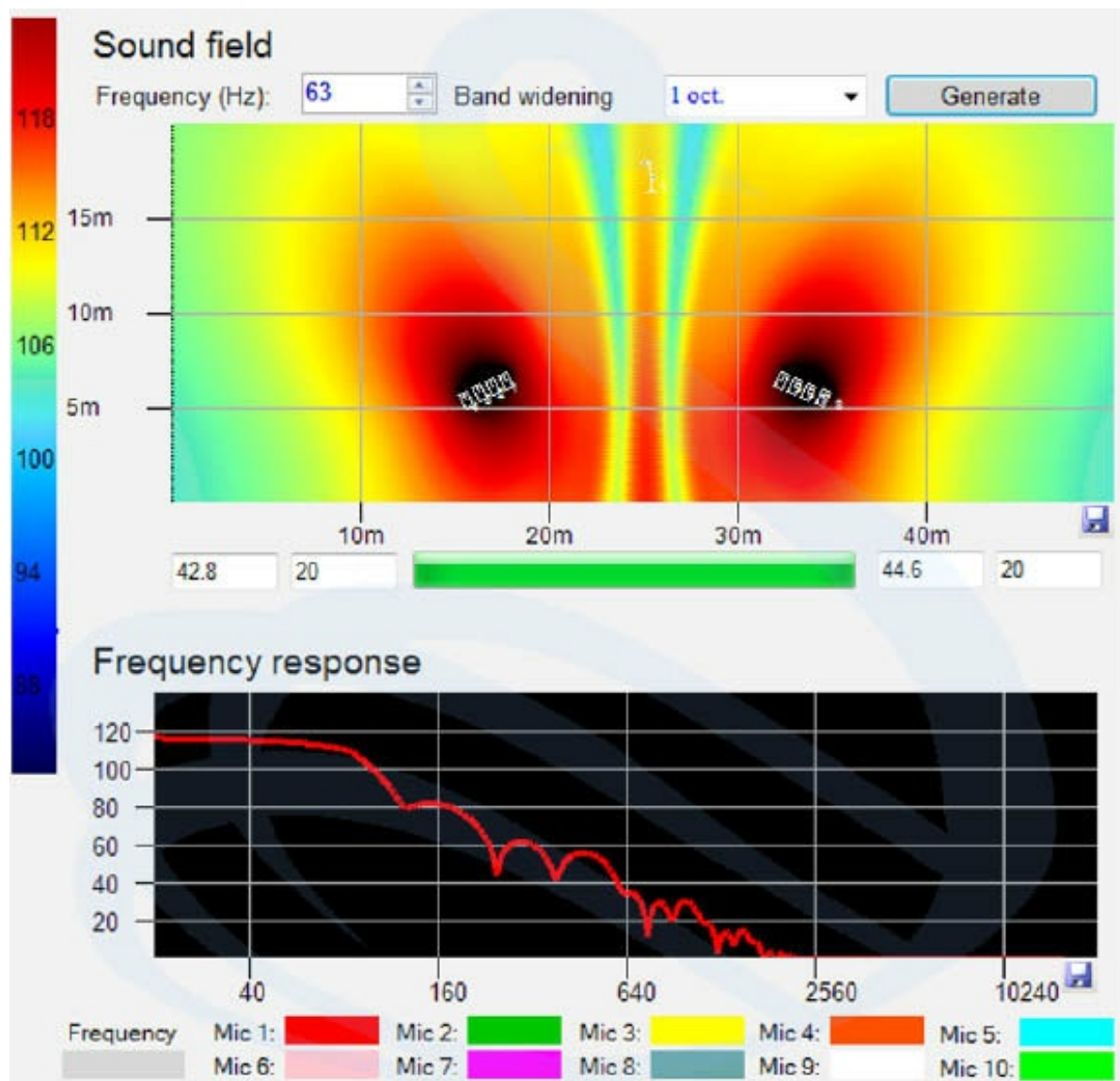


figura 7.99 campo acústico e resposta de frequência para o arranjo de 8 subwoofers LR como na figura 7.98

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Antes de concluir essa questão da diretividade dos subwoofers gostaria de fazer dois comentários finais.

7.4.7.1 Comentário 1

Se você ainda não fez simulações como as muitas que viu acima, é praticamente impossível sentir como pequenas variações dos parâmetros envolvidos afetam os resultados, por vezes de forma surpreendente. Que parâmetros são esses? Entre os mais óbvios e muitos outros, relaciono o que segue.

- 1 – definir se vamos trabalhar com arranjos cujos dados já foram armazenados ou se vamos trabalhar com arranjos formados por elementos individuais, os quais podemos configurar separada e independentemente dos demais elementos
- 2 – definição de quantos subwoofers serão simulados simultaneamente
- 3 – idem para falantes de médias e de altas frequências
- 4 – quantos microfones serão utilizados nas medições
- 5 – introdução de elementos gráficos nos mapas, como linhas, círculos, seres humanos e até textos
- 6 – introdução de filtros com respectivas frequências de crossover, ordem de filtro e tipo (Bessel, Linkwitz-Riley, Butterworth, etc.)
- 7 – opções de resolução gráfica dos mapas
- 8

– opção de introdução de atenuação imposta pelo ar, ou não 9 – opção de introdução de reflexões, e paredes que a produzirão 10 – localização espacial de arranjos ou de falantes, individualmente considerados 11 – possibilidade de habilitar e desabilitar cada subwoofer e/ou falantes, individualmente 12 – rotação de fase atribuída individualmente a cada subwoofer e/ou falante 13 – alocação individual de cada subwoofer e/ou falante a um determinado grupo 14 – ganho ou atenuação (dB) atribuído a cada subwoofer e/ou falante 15 – atraso eletrônico atribuído a cada subwoofer e/ou falante, de modo individual 16 – localização espacial de cada um dos microfones de teste habilitados 17 – frequência de trabalho, que é aproximadamente o ponto de partida da simulação 18 – largura de banda da simulação, entre 1/12 de oitava a 10 oitavas Então, se você tem interesse nesse assunto específico, recomendo que desça um simulador da Internet e pratique bastante. Aos poucos você ganhará destreza e domínio sobre o assunto.

7.4.7.2 Comentário 2

Outra coisa muito legal que pode ser feita são experiências práticas em campo com os subwoofers.

Os atrasos de sinais com os quais lidamos podem ser ajustados em campo com precisão cirúrgica. Não se trata de fazer medições físicas de distâncias e dividir esses valores pela velocidade do som para encontrar valores absolutamente precisos. Embora eu mesmo tenha usado esse expediente em muitos dos exemplos que dei, o fato é que na prática é fundamental fazer medidas e ajustes finos para que tenha melhores resultados.

Nesse sentido, ajustes finos requerem analisadores FFT de traço duplo equipados com recursos função de transferência e “delay finder”. Dessa forma é possível e medir as fases de dois ou mais subwoofers em tempo real, as quais podem ser alteradas em função de ajustes promovidos no atraso eletrônico de sinais. Uma vez que se tenha ajustado cirurgicamente as fases, pode-se mantê-las desse modo ou inverter uma delas. O software mostrará imediatamente a diferença de fase de 180°. Como esses programas medem simultaneamente magnitude e fases, eles também possibilitam ajustar os ganhos relativos de maneira a se obter acuidade não só nas fases, mas também nos efeitos de ganho e de atenuação.

Quem tiver interesse nesse particular aspecto prático da questão, sugiro a leitura do Relatório Técnico “SETTING UP A CARDIOID SUBWOOFER SYSTEM”, documento publicado pelo Departamento de Engenharia da DAS Audio. O software utilizado nas ilustrações desse documento é o SATlive, muito reputado pelas empresas locadoras em todo o mundo. Mas, nem por isso uma ferramenta muito cara. E absolutamente útil para locadoras, integradores, sound contractors, pesquisadores e tantos outros.

Os links da DAS e da SATlive: www.dasaudio.com

e

www.take-sat.de

7.4.7.3 CUSTOMIZAR OU NÃO CUSTOMIZAR, EIS A QUESTÃO

Creio que ninguém discorda que o mais fácil mesmo é especificarmos caixas acústicas já prontas, fabricadas por empresa idônea, que a tem direto das prateleiras.

A segunda coisa mais fácil é desenhar um cluster a partir de caixas acústicas disponíveis no mercado, também já prontas e acabadas.

Por outro lado, agora que já temos uma boa idéia dos principais aspectos relacionados com as pilhas de falantes, sabemos que é não é assim tão fácil desenhar clusters partindo de caixas acústicas prontas. Especialmente quando as características desejadas fogem do tradicional. Simplesmente não teríamos como controlar distâncias, que por sua vez controlam outros parâmetros.

A decisão de customizar ou não customizar um ou mais clusters geralmente não é fácil. Além do trabalho adicional, muitas vezes o elemento tempo é um dos fatores a considerar, e frequentemente um obstáculo insuperável.

Mas como disse antes, há casos em que a resposta é rápida e direta.

Por exemplo, pequenos e médios ambientes geralmente comportam muito bem a alternativa de aplicação de clusters desenhados exclusivamente com produtos normais de linha.

Mas há muitos casos, como os de estádios esportivos, em que a solução natural exige cluster central. Por razões diversas, mas especialmente pela econômica. E nesses casos, os níveis de pressão sonora exigidos são relativamente elevados, e as distâncias envolvidas muito grandes. Às vezes, superiores a 500 metros. Quando essas circunstâncias se juntam, os benefícios inerentes das pilhas podem ser utilizados com vantagens excepcionais.

Ambientes acusticamente muito amortecidos geralmente não impõem requisitos muito rigorosos de diretividade. E produtos prontos são geralmente uma boa alternativa.

Inversamente, ambientes muito vivos, como igrejas em geral, usualmente requerem clusters altamente direcionais. E muitas vezes com mais qualidade do que é possível obter com colunas “line source”.

E estes são exemplos rotineiros de aplicação de clusters customizados.

A solução para cada caso deve ser o resultado das análises específicas de vários aspectos a considerar.

Como o orçamento disponível, requisitos visuais, desempenho eletroacústico e outros.

7.5 OPÇÕES E CUIDADOS A TOMAR

Por tudo o que acabamos de discutir, especialmente o que se refere às técnicas aplicáveis às pilhas e clusters, podemos concluir que há dois motivos principais que nos levam a combinar falantes: • obtenção de aumento da saída acústica por efeito feixe e/ou acoplamento mútuo • controle da diretividade Mas ainda há um terceiro motivo, que é a necessidade de distribuir energia elétrica por dois ou mais falantes. Esse terceiro motivo pode ser facilmente confundido com o primeiro.

Vamos pensar numa situação hipotética para desfazer quaisquer possíveis dúvidas a respeito.

Dimensionamos 1.000 watts de potência elétrica para a seção de baixas frequências. O falante que temos em mente só trabalha com segurança até o limite de 600 watts. Podemos resolver essa questão de forma muito simples, utilizando dois falantes para que cada um seja operado até o limite de 500 watts.

Se essa for a única razão de nossa opção, então não teremos tido qualquer intenção de contar com os benefícios do acoplamento mútuo. Menos ainda com as vantagens do efeito feixe. Devemos ter isso claro em nossas mentes, para que possamos distinguir as coisas.

Os três motivos que nos levam a combinar falantes, como antes alinhados, podem se fazer presentes separadamente ou em conjunto. Vejamos então cada um deles isoladamente, e quais são as implicações secundárias resultantes.

7.5.1 Motivo nº 1 - Obtenção de Maior Pressão Sonora O ponto de partida para o desenvolvimento de desenhos de clusters destinados a produzir níveis de pressão sonora excepcionalmente elevados é a aplicação das técnicas das pilhas.

Se por um lado sabemos que iremos atingir nosso objetivo principal, devemos lembrar que teremos de quebra dois outros efeitos adicionais.

7.5.1.1 Primeiro Efeito Adicional Para compreendermos o primeiro efeito adicional, devemos entender que o aumento da pressão sonora por efeito feixe não é um milagre. Não há criação de energia. Apenas estamos lidando com uma outra forma de distribuir a mesma energia. E se mais energia é concentrada na direção do eixo principal do cluster, então há menos energia radiada em direções que se afastam mais dele.

O que significa que a diretividade do cluster é diferente das diretividades de seus componentes.

Portanto, se esse aspecto não for levado em conta, poderemos estar criando problemas com nossa cobertura acústica.

Entretanto, o risco é apenas relativo, pois os profissionais que trabalham com as técnicas

das pilhas estão geralmente bastante conscientes deste efeito adicional.

O principal cuidado, portanto, é não balizarmos nossas previsões de cobertura pelas diretividades dos componentes do cluster, sabendo de antemão que eles serão alterados. O ideal é desenharmos os clusters com diretividades tais que possamos atender ao padrão de cobertura exigido, respeitando todas as demais condicionantes estabelecidas. Outra alternativa é desenhar os clusters para a obtenção dos níveis de pressão sonora desejados, e cotizar suas características de cobertura com as necessárias.

Se preciso, então aplicaremos as técnicas de cobertura discutidas no capítulo 6.

7.5.1.2 Segundo Efeito Adicional O segundo efeito adicional diz respeito ao arranjo elétrico dos componentes do clusters, que devem satisfazer às seguintes condições: apresentar impedância compatível com os parâmetros impedância de carga - potência de saída do amplificador, distribuição adequada de potência elétrica pelos transdutores combinados, segurança operacional para amplificadores e falantes.

Embora esse segundo efeito seja aparentemente algo cuja solução não nos toma mais do que 5 minutos, nem sempre as coisas são desse modo.

Pense numa pilha com uma quantidade ímpar de cornetas. Por exemplo, cinco. Cada uma com impedância de 8W. Se tivéssemos apenas quatro delas, poderíamos facilmente obter nossos 8W originais. Mas com cinco, se queremos dividir igualmente a potência elétrica, não devemos arranjar três delas em série, e colocar esse arranjo em paralelo com duas outras, também arranjadas em série, para obter a resultante de 9,6W. Do mesmo modo, também não devemos ter três delas em paralelo, e depois seriar estas com as duas restantes arranjadas em paralelo, para obter 6,7W.

Nas duas hipóteses teríamos três cornetas submetidas a um nível elétrico, e as duas restantes a outro.

Como resolver? Há várias formas. Uma delas é não fazer arranjos elétricos e trabalhar com canais dedicados de amplificação. Outra é fazer arranjos parciais, e também trabalhar com canais dedicados de amplificação. Em algumas ocasiões se justificará o uso de uma ou duas cargas resistivas. Especialmente quando a quantidade de falantes combinados for substancialmente elevada.

O importante é levar em consideração esses efeitos colaterais na etapa de projeto, para que não tenhamos surpresas desagradáveis depois, todas implicando em perda de tempo em campo.

Naturalmente, num bom projeto detalhes do gênero estão pensados e resolvidos.

7.5.2 Motivo nº 2 - Obtenção de Controle de Diretividade Também aqui a aplicação das técnicas das pilhas é o ponto de partida para o desenvolvimento de desenhos de clusters

destinados a operar com maiores relações de diretividade.

E como antes, também há dois efeitos adicionais.

7.5.2.1 Primeiro Efeito Adicional Quando usamos dois ou mais falantes do mesmo tipo só para obter um cluster mais direcional, obtemos como benefício marginal maiores pressões sonoras do que a simples soma das contribuições individuais.

Neste caso, isso acaba se convertendo numa vantagem, pois poderemos operar com menores níveis de energia elétrica.

7.5.2.2 Segundo Efeito Adicional Aqui aplica-se integralmente o que foi discutido no item 7.5.1.2.

7.5.3 Motivo nº 3 - Distribuição de Energia Quando combinamos falantes para distribuir potência elétrica entre eles, a determinação das quantidades de falantes é feita por aritmética simples.

7.5.3.1 Primeiro Efeito Adicional Pelo simples fato de estarmos combinando falantes, obteremos os benefícios próprios dos empilhamentos. Que mesmo não desejados, poderão ser de utilidade, uma vez que farão com que possamos operar os falantes com menores níveis de energia do que o faríamos sem tais benefícios, independentemente de todo o restante.

7.5.3.2 Segundo Efeito Adicional O segundo efeito adicional é a questão de possíveis alterações de padrões de diretividade. O que, agora, é realmente preocupante.

Regras básicas costumam ser violadas sem qualquer cerimônia. O que pode ser atestado no dia a dia de qualquer um de nós.

Vou citar um caso clássico, que penso que todos vocês já tiveram oportunidade de constatar. Estou me referindo às pilhas de tweeters, usadas horizontalmente, que podemos ver em muitos espetáculos ao vivo.

A intenção principal, e frequentemente a única, imaginada pelos que usam os tweeters desse modo, é distribuir elevado nível de potência elétrica por muitas unidades. Perfeito. Quem quer energizar tweeters com 400 watts, e possui tweeters que só podem trabalhar até o limite de 50 watts cada, precisa de um mínimo de 8 tweeters.

Mas montar horizontalmente pilhas como essas, dos dois lados do palco, é promover um tremendo estreitamento da cobertura horizontal, onde provavelmente seria melhor tê-la bem mais ampla, sem alterar a cobertura vertical, que na maioria dos casos pode, e então deve ser reduzida.

Esse tipo de arranjo, feito sem que as consequências sejam devidamente avaliadas, geralmente condena os espectadores mais próximos do palco, especialmente os que estão nas partes central e laterais, a ouvir apenas baixas e médias frequências. E ao mesmo tempo, a energia acústica preciosa é desperdiçada, sendo jogada para cima.

Em locais fechados, a energia jogada para cima não é só desperdiçada, mas por excitar o campo reverberante, prejudica sobremaneira a inteligibilidade.

7.5.3.3 Um Caso Todo Especial Combinar subwoofers, woofers, midranges e tweeters para distribuir a energia entre as unidades é uma praxe. Mas há um caso todo especial, que diz respeito às cornetas. Trata-se de uma situação muito particular, diante da qual o projetista menos avisado pode ser levado a trilhar o caminho mais difícil na busca de uma solução.

É quando uma única corneta, com suas características de cobertura nos planos horizontal e vertical mostra-se ideal para projetar energia sobre uma determinada área. Contudo, o driver escolhido para trabalhar em conjunto com ela, por mais robusto que seja, é incapaz de manipular com segurança os níveis de energia necessários para produzir a pressão sonora desejada.

Ao encontrar uma situação dessas, a tendência natural de muitos projetistas é seguir o que parece ser o caminho mais lógico. Ou seja, associar conjuntos drivers-cornetas, no afã de distribuir a potência elétrica pelos drivers utilizados.

Em alguns casos isso pode ser mesmo a única solução. Mas em outros, não. E quando não for, se por um lado o problema da distribuição de energia é resolvido, outros dois são criados. O primeiro, é como combinar as cornetas necessárias para obter as mesmas coberturas horizontal e vertical que seriam garantidas com uma só corneta. O segundo, é o maior investimento feito em drivers e cornetas adicionais.

No primeiro caso, as pilhas Bessel podem ser a solução. Mas como disse, isso é algo muito recente, e por isso mesmo, ainda dificilmente utilizada na prática.

Atentos para isso, alguns fabricantes desenvolveram produtos especialmente projetados para aplicação nesses casos. São cornetas que podem ser alimentadas com mais do que só um driver. Por exemplo dois, ou quatro, ou seis, ou doze, e até mais.

A figura 7.100 mostra uma dessas cornetas, no caso alimentada por nada menos do que 24 drivers.



figura 7.100 corneta acústica SC-1200A, assistida por 24 drivers TU-50S
Cortesia PHOEBUS S.p.A.

Cada um dos drivers pode operar com 17,0 dBW (50 watts RMS). Assim, com os 24 drivers, a potência máxima de trabalho é 30,8 dBW (1.200 watts RMS).

Como a sensibilidade axial da corneta é 114 L_p/0dBW/1 metro, com os 30,8 dBW o nível de pressão sonora a 1,0 metro é a bagatela de 144,8 L_p.

7.6 LINE ARRAYS

Uma vez que os sistemas line array conquistaram definitivamente seu lugar ao sol no planeta mágico do áudio, não seria possível deixar de incluí-los ao material que você acabou de ler neste capítulo. Que, por sinal, está praticamente sem retoques desde que foi escrito há mais de 15 anos.

Pois bem, antes de tentar definir o conceito line array gostaria de me reportar a um marco histórico do passado.

A figura 7.101 exhibe algumas “colunas de voz”. A e B mostram estudos de David Kleper, que datam do final dos anos 50. C e D mostram os fertilíssimos estudos de Hilliard feitos no início dos anos 60. E, F, G e H mostram a linha TZ de carcaça metálica da TOA, modelos 401, 301, 201 e 101, respectivamente. I, K e K exibem a linha TZ, ainda da TOA, mas agora de carcaça de madeira. Os modelos são o 312, 212 e 112, nessa ordem. L mostra a coluna de voz Philips modelo LBC 3066, e em M e N estão as colunas Philips LBC 3051 e LBC 3052. Muitas dessas colunas ainda são fabricadas e disponibilizadas no mercado pelos fabricantes mencionados.

Portanto, há mais de meio século que esse tipo de produto se tornou muito popular no mundo todo. Para que você possa avaliar bem esse aspecto, posso mencionar que só aqui no Brasil, onde o forte não era a fabricação de caixa acústicas, haviam inúmeros fabricantes de colunas de som.

Entre os quais estavam a Philips, a querida Disom dos meus amigos Carlos e Jeferson, a gloriosa Delta, famosa por suas cornetas reentrantes, a SuperSom, e tantas outras.

A popularidade das colunas de som tomou impulso com o seu repentino e exaustivo uso em igrejas e espaços reverberantes em geral, nos quais a voz humana, e não a música, era a tônica dos programas reforçados.

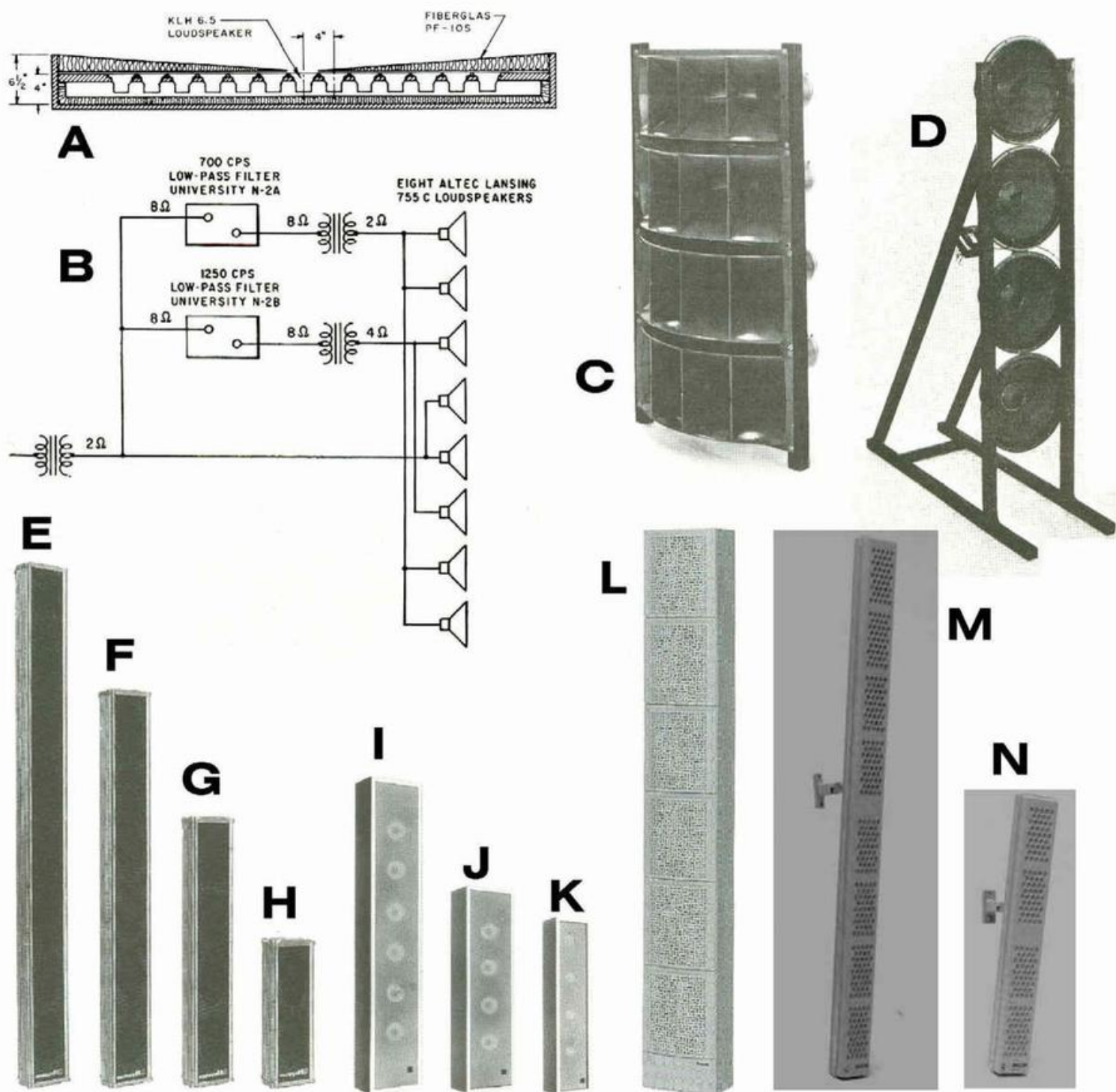


figura 7.101 colunas de voz acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Aplicadas corretamente e especificadas à luz de dimensionamentos eletroacústicos criteriosos, as colunas de som produziam resultados finais que variavam entre o satisfatório e o excelente.

Até hoje muitos alunos ainda me perguntam – e porque? Bem, já sabemos que o empilhamento de falantes formando uma coluna vertical reduz o ângulo vertical de cobertura na proporção da quantidade de falantes empilhados. Como também sabemos que a cobertura horizontal da coluna é o mesmo que o de cada falante individualmente considerado.

Portanto, as colunas de voz são muito direcionais. Podemos colocar que sua relação de diretividade Q é naturalmente muito elevada.

A figura 7.102 mostra claramente o que discutimos e preceituamos na expressão 7.5. Isto é, que a relação de diretividade de uma pilha vertical aumenta na proporção direta da quantidade de falantes utilizados na mesma.

Essa característica das pilhas possibilitou que as colunas de voz fossem utilizadas para dirigir o som para as áreas onde ele era desejado e, ao mesmo tempo, evitar que ele fosse dirigido para quaisquer outras regiões, onde excitaria o campo reverberante. Tal manobra permitiu a obtenção sistemática de inteligibilidade aceitável, mesmo em espaços muito reverberantes.

Uma análise mais detalhada da figura 7.102 mostra que a relação de diretividade Q realmente aumenta na proporção da quantidade de falantes utilizados. Mas mostra também que há um limite para isso.

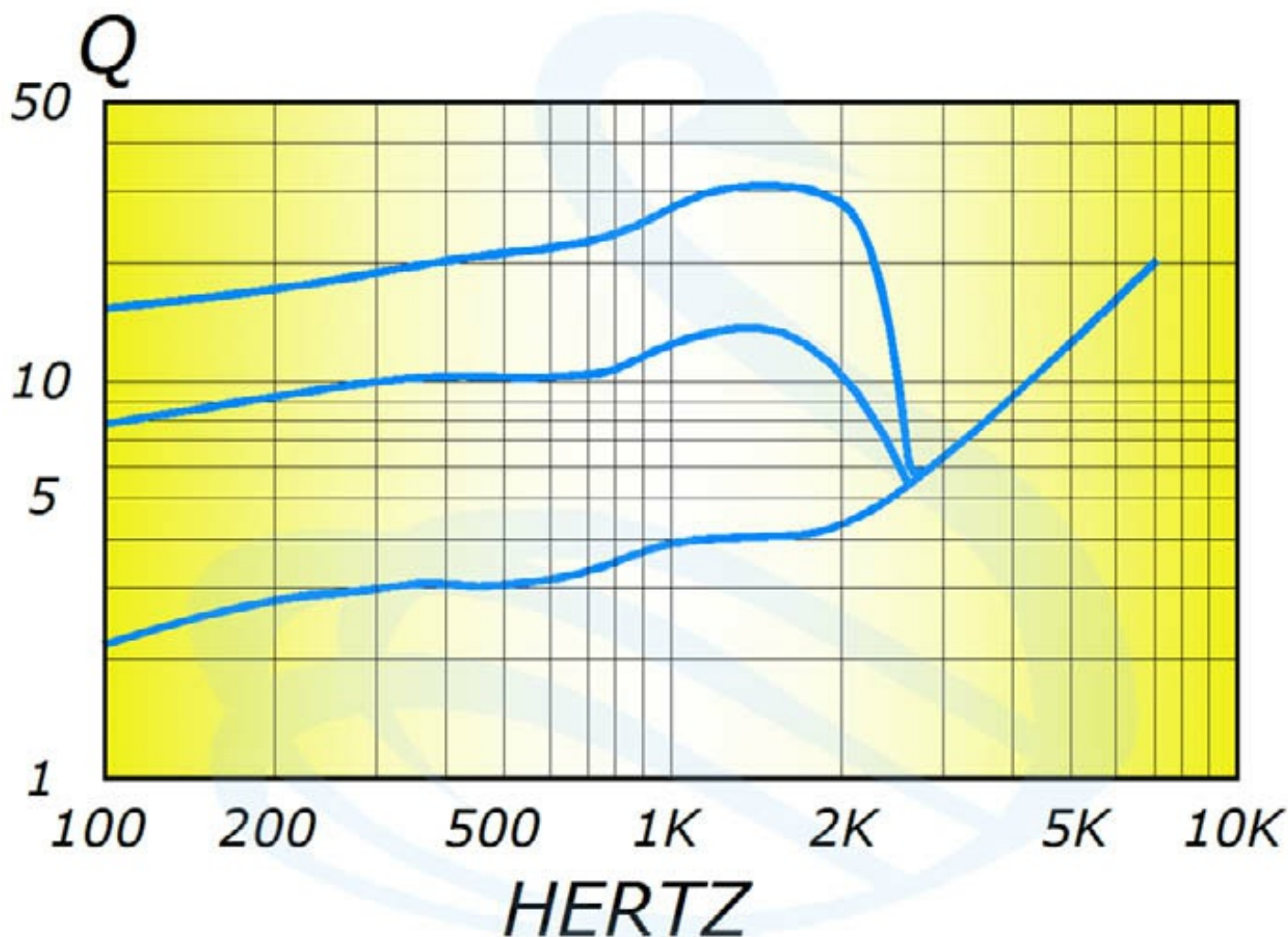


figura 7.102 relações de diretividade 1. abaixo, um só falante de 4"

2. no centro, coluna com 4 falantes de 4"

3. acima, coluna com 8 falantes de 4"

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O que, a estas alturas, não deveria ser nenhuma surpresa para ninguém. Não depois de termos discutido essa mesma questão e concluído com a expressão 7.3, que possibilita calcular FLS. Ou seja, a frequência Limite Superior.

Observando com detalhes a figura 7.102, vemos que esse limite ocorre aproximadamente na frequência de 2,5 kHz. Cujo comprimento de onda, aproximadamente 14 centímetros, é igual à distância entre os centros acústicos das duas colunas referidas na figura.

7.6.1 A Frente de Onda Coerente Nosso interesse agora é investigar detalhadamente o motivo que determina aquela limitação em FLS.

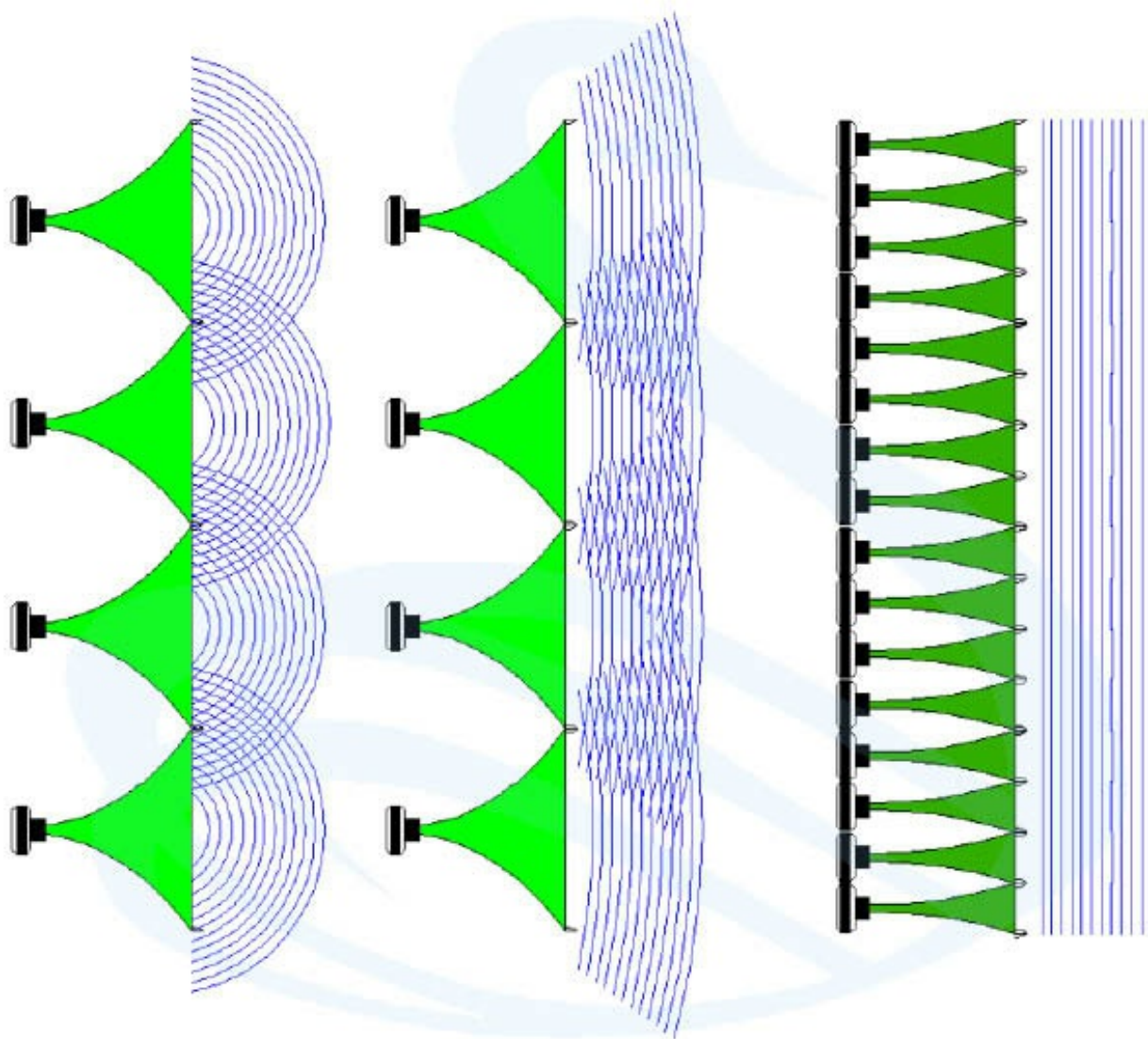


figura 7.103 ilustração da formação da frente de onda coerente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
O lado esquerdo da figura 7.103 mostra 4 cornetas alinhadas verticalmente. A distância entre cornetas vizinhas é d_1 . À direita das cornetas estão representadas as ondas acústicas que as deixam. Pode-se ver que ocorre sobreposição de ondas entre cornetas vizinhas. É exatamente isso que provoca interferência destrutiva das ondas sonoras nas regiões de sobreposição.

O centro da figura 7.103 mostra situação semelhante. Mas agora a frequência é mais elevada. Portanto, com menor comprimento de onda do que no caso anterior. É por essa razão que as curvaturas das ondas são mais pronunciadas. Ora, pode-se perceber que a sobreposição aumenta muito. Logo, também há aumento da interferência destrutiva.

Percebe-se, pois, que esse é um fenômeno dependente da frequência.

Veja o lado direito da figura 7.103. Ao invés das 4 cornetas, temos agora 16 delas. O espaçamento entre cornetas vizinhas é d_2 . Como sugerem os desenhos, d_2 é muito menor do que d_1 .

À direita das 16 cornetas estão representadas as ondas que as deixam. Neste caso, a frequência é exatamente a mesma que a do caso anterior. Ainda assim, a interferência destrutiva praticamente não existe mais. Tudo isso nos mostra que a interferência destrutiva é não só dependente da frequência, mas que também está relacionada com a distância entre os centros acústicos dos falantes usados na construção das pilhas.

Ora, também já sabíamos disso. Aliás, posso lhes assegurar que estudei vários dados sobre isso, que escrevi há mais de 15 anos, no início dos anos 60 !!!

De fato FLS limitava o aumento de diretividade das velhas colunas de som. Ainda assim, os resultados eram satisfatórios para melhor porque, felizmente a limitação ocorria adiante das frequências mais relevantes para a determinação da inteligibilidade da palavra. Que era o que realmente importava.

Bem, aí está nossa definição de line array. Ou seja, o empilhamento vertical de radiadores de som. A rigor, essa é a definição antiga de line array. Sim, da época em que os line arrays sequer eram assim chamados.

Fica claro, portanto, que é possível alinhar adequadamente os falantes, observando rigorosamente os espaçamentos entre unidades à luz dos comprimentos de onda. A intenção é que o trabalho combinado de todos os falantes empilhados resulte numa frente de onda coerente, com a eliminação das interferências destrutivas. O que não só maximiza a entrada elétrica apresentada para os falantes, mas acima de tudo, proporciona qualidade sônica caracterizada pela presença e extraordinária clareza.

Pesquisando as informações contidas nos desenhos da figura 7.103 podemos deduzir facilmente que o efeito obtido com as 16 cornetas deve-se ao fato do comprimento de onda da frequência reproduzida ser relativamente grande comparado com a distância d_2 . Do mesmo modo, fica fácil deduzir que os cancelamentos que ocorrem com as 4 cornetas devem-se ao fato dos comprimentos de onda não serem suficientemente grandes comparados com d_1 . Ora, como d_1 é muito maior que d_2 , é óbvio que o arranjo com as 16 cornetas produz uma combinação que resulta numa frente de onda coerente para frequências muito mais elevadas que no caso das 4 cornetas.

Podemos generalizar dizendo que quanto menor for o espaçamento entre os centros acústicos dos transdutores mais alta será a FLS.

O termo isofásico aplica-se a dispositivos, geralmente de médias frequências, que são desenhados para que o som chegue em fase em sua boca, ou plano vertical de saída. Muitas vezes os dispositivos isofásicos são aplicados nas bocas das cornetas para a obtenção do efeito desejado.

Todo sistema line array apresenta o que se convencionou chamar de artefatos, que são os lóbulos gradiente laterais. São propagações de som indesejadas fora de eixo, que emanam das extremidades das pilhas e devem-se ao fato de alguns elementos das pilhas estarem em fase em determinados ângulos fora do eixo principal da pilha.

7.6.2 A Perda Com a Distância Faça-me um grande favor. Volte as páginas até o item 5.3, atenuação dos sons em ambientes abertos, ou lei dos inversos dos quadrados. Faça uma

revisão bem feita daquele material e tente memorizar a figura 5.7, que mostra a perda de 6,0 dB cada vez que duplica a distância da fonte de som.

Veja agora a figura 7.104.

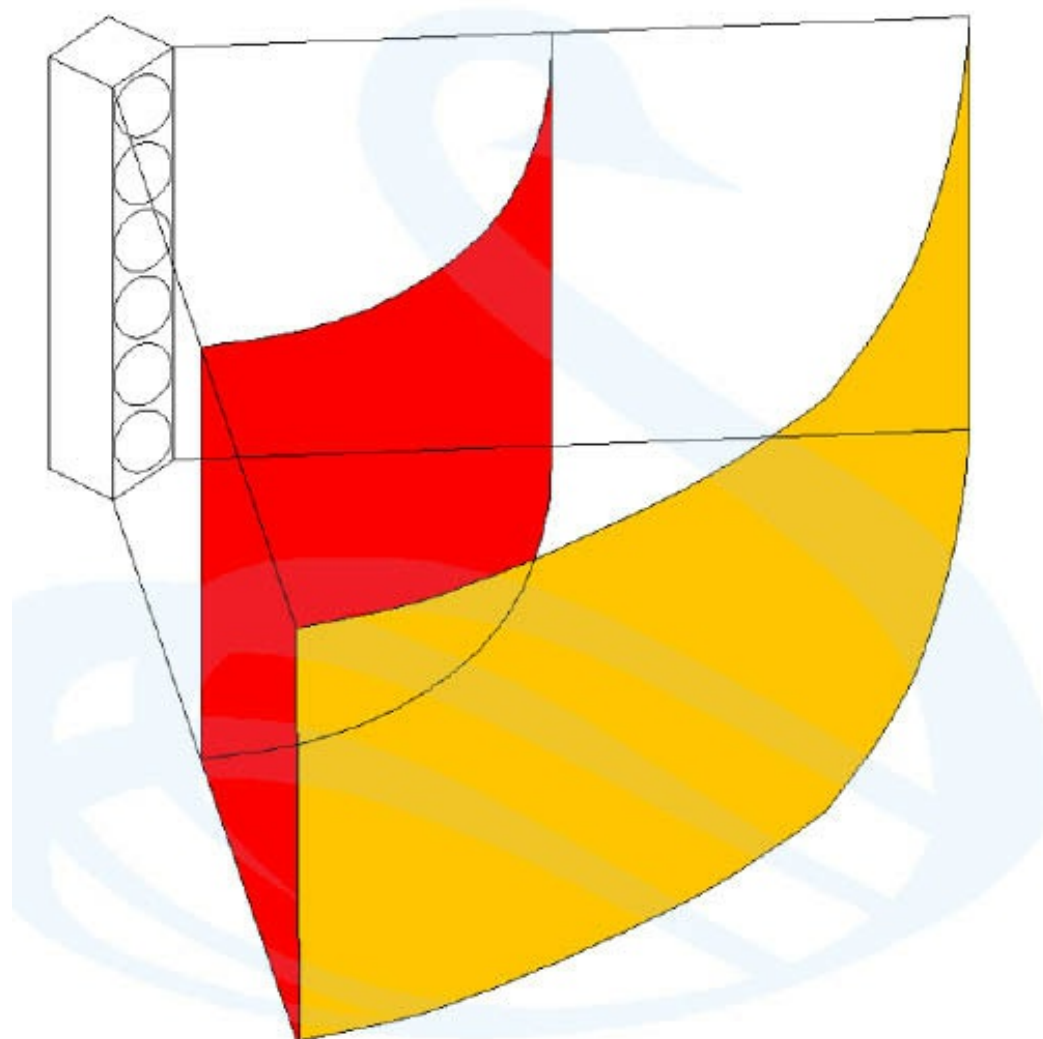


figura 7.104 perda com a distância na frente de onda coerente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Ela nos deixa visualizar como ocorre a propagação da frente de onda coerente. Para deduzirmos como se dá a perda com a distância nesse caso, devemos começar calculando as áreas negra, que vou chamar de S1, e a cinza, que vou chamar S2. Consideremos que o ângulo de cobertura horizontal é 120°. Fazendo R1 = 1 metro e R2 = 2 metros temos que S1 = 2.p.1.H/3 e S2 = 2.p.2.H/3 Então, a atenuação é

$$\text{Atenuação} = 10 \log \frac{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot H \cdot 3}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot H \cdot 3} = 10 \log 2 = 3,0 \text{ dB} \quad (7.8)$$

Então, nos sistemas line array a perda não segue mais a Lei dos Inversos dos Quadrados, mas é de apenas 3,0 dB para cada dobrada de distância.

Isso já ocorria com as velhas colunas de voz. Claro, até a FLS.

À medida que as igrejas foram se modernizando, cada vez mais a música passou a fazer parte dos ritos. E quando as mesmas colunas passaram a ser usadas para reproduzir música os resultados não eram mais tolerados. E assim, as caixas acústicas convencionais de 2, 3 ou 4 vias passaram a substituir as colunas de voz nas igrejas e em muitos outros tipos de instalação. Por outro lado, a qualidade obtida com essas colunas estava a quilômetros de

distância das exigências mínimas exigidas pelos usuários de sistema PA de pequeno, médio e grande portes.

Para efeitos práticos de trabalhos com line arrays considera-se que o comprimento de onda da mais elevada frequência que ainda será reproduzida com os benefícios da frente de onda coerente é igual ou maior que a distância d . Matematicamente:

$$\lambda \geq d$$

A partir disso podemos calcular nossa mais elevada frequência em função da distância d . A expressão para isso continua a ser a 7.3.

É verdade que no passado não haviam componentes que pudessem atender a demanda de reduzir os espaçamentos entre centros acústicos para se obter frentes de onda coerentes com as médias, e principalmente, com as altas frequências.

Mais recentemente, a comunidade do áudio se conscientizou do que já vinha sendo apregoado há décadas.

Então, quase de um momento para outro, os fabricantes se apressaram para desenvolver novos dispositivos capazes de possibilitar a obtenção das frentes de onda coerentes de modo incondicional. Claro, estamos falando de dispositivos que permitissem espaçamentos muito reduzidos entre seus centros acústicos.

Com o tempo foram criadas guias de onda, cornetas com formatos especiais, e muitos outros dispositivos acústicos que já proporcionavam a obtenção do objetivo colimado. Um dos exemplos disso, que gosto de usar, é o guia de onda ADC, anacronismo para Acoplador de Difração Coerente, que desenhei para a caixa line array compacta de 3 vias, a Antares, como ilustrado na figura 7.105.

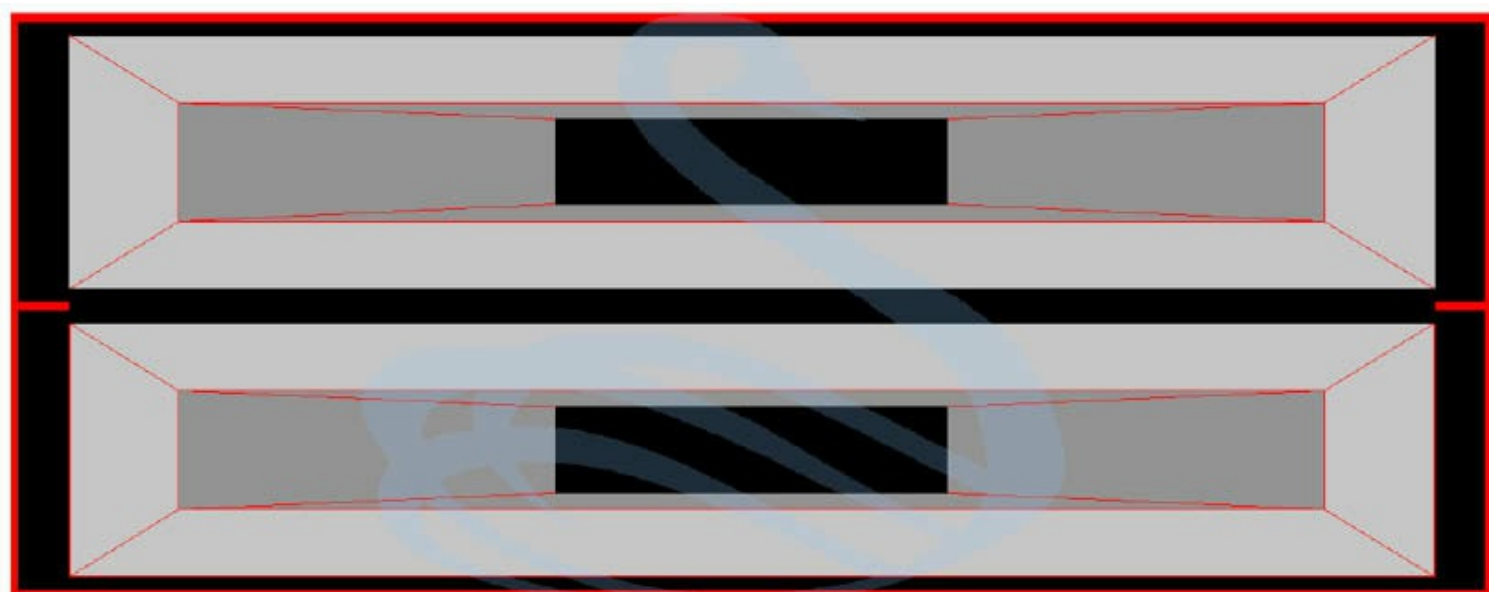


figura 7.105 vista frontal da guia de onda ADC (Acoplador de Difração Coerente) projetado pelo engenheiro Luiz Fernando Otero Cysne acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O certo é que um dos grandes desafios de qualquer projetista de line array é fazer com que seu produto gere frente de onda coerente para toda a banda de trabalho do transdutor. Quanto mais isso for verdade melhor terá sido a

qualidade do alinhamento projetado.

Ora, é óbvio que a saída é trabalhar com sistemas multivias. O mercado tem mostrado o trabalho árduo de pesquisa dos fabricantes e de estudiosos do assunto. As indicações claras são que os melhores sistemas line array são de 3 vias, geralmente acrescidos dos subwoofers.

Todos sabemos que, em se tratando de subwoofers, o controle direcional é muito mais difícil do que em qualquer outro segmento do espectro.

Entretanto, padrões de dispersão cardióide, supercardióide e hipercardióide podem ser obtidos com falantes, usando-se técnicas similares às utilizadas para os microfones.

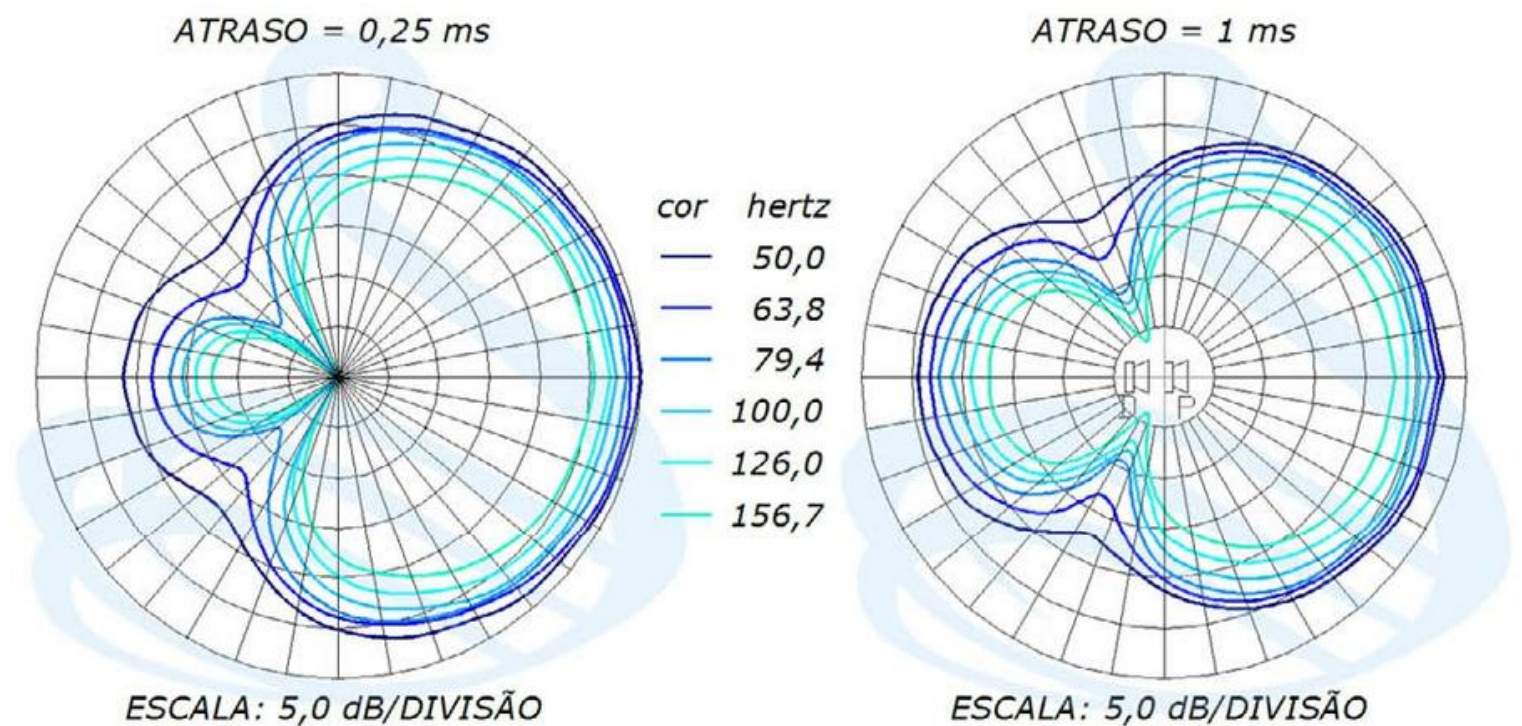


figura 7.106 subwoofer com padrão cardióide acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Por exemplo, dois subwoofers separados de uma distância exata no interior de um gabinete, criando na frente da caixa um atraso para o som proveniente do falante traseiro, e a diferença de níveis de sinais pode criar um padrão cardióide, com atenuação máxima a 180º fora do eixo. Ainda como no caso dos microfones, a manipulação daqueles parâmetros permite a modificação do padrão de dispersão. E assim é possível chegar aos padrões supercardióide, hipercardióide e outros.

A figura 7.106 ilustra a ideia, lembrando que essa figura já foi utilizada quando discutimos as técnicas de direcionamento de subwoofers.

Mas se os line arrays não são nenhuma novidade, então porque será que eles viraram moda praticamente de um dia para outro?

Exatamente porque os fabricantes desenvolveram condições de produzir frente de onda coerente por todo o espectro de um dia para outro.

Certamente, do ponto de vista prático, uma das distinções entre os line arrays de última geração e os anteriores é que, se adequadamente projetados e montados, esses arranjos realmente são capazes de assegurar campos de som rigorosamente consistentes e, acima de tudo, muito previsíveis. Predicado este muito desejado em qualquer aplicação profissional.

7.6.3 A Diferença de Potência Imagine que um cliente nos diga que quer sonorizar uma praça,

indicando a posição para os falantes e a área onde as pessoas ficarão. Ele acrescenta que gostaria de ter nível de 110 dBSPL no banco mais distante do local onde os falantes devem ficar. Medimos essa distância, que é 32 metros.

Imagine que estamos pensando em duas alternativas: usar um sistema convencional de falantes ou usar um line array.

Nos dois casos a sensibilidade dos transdutores é 100 dBSPL/0dBW/1m.

Fazendo as contas concluímos que a perda ao longo dos 32 metros seria 30,0 dB com o sistema convencional, e apenas 15,0 dB com line array.

Isso significa que para podermos atingir 110 dBSPL a 32 metros do sistema convencional, ele precisa ser alimentado com 40,0 dBW.

Nas mesmas condições, precisamos de 25,0 dBW para o line array.

Lembro que 40,0 dBW correspondem a 10.000 watts e 25,0 dBW correspondem a somente 316 watts. Portanto, para chegar ao mesmo SPL na mesma distância, o line array exige apenas 3,16% da potência exigida pelo arranjo convencional. Com economia de energia de aproximadamente 97%. Essa economia acaba sendo o reflexo da economia de amplificadores, de cabos, de racks, com a área que não precisa ser desnecessariamente ocupada, com a mão de obra de cabeamento e de conectorização, de instalação dos amplificadores, etc., etc.

A figura 7.107 mostra essa comparação.



figura 7.107 perda com a distância: sistema convencional versus line array acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 7.6.4 O Campo Próximo Os efeitos benéficos da frente de onda coerente, isto é, a perda de apenas 3,0 dB com a distância ao invés dos 6,0 dB ditados pela Lei dos Inversos dos Quadrados, só prevalece até uma certa distância da fonte de som. O espaço compreendido entre a fonte de som e aquela certa distância é denominado campo próximo.

Já vimos os conceitos de campo próximo e de campo reverberante no capítulo 5. No jargão

próprio e peculiar de line array, o campo próximo também é chamado de região Fresnel e o campo remoto de região Fraunhofer.

Podemos revisar e acrescentar algo ao conceito, dizendo que aquela distância máxima que determina a extensão do campo próximo é a distância crítica (DC), também discutida no capítulo 5.

Como vimos naquele capítulo, a distância crítica pode ser calculada através de uma determinada expressão matemática, composta por algumas variáveis.

Entretanto, podem ser derivadas outras expressões, cujas variáveis são ajustadas para os casos específicos dos sistemas line array. Algumas dessas expressões conduzem a valores ligeiramente diferentes. A nomenclatura mais comum para a distância crítica quando referida aos sistemas line array é CNF. O sufixo NF denota campo próximo (near field).

Dentre as expressões existentes, prefiro, uso e recomendo a seguinte:

$$D_{NF} = \frac{3}{2} F H^2 \sqrt{1 - \frac{1}{(3FH)^2}} \quad (7.9)$$

onde

- F é a frequência em quilohertz, e
 - H é a altura total da pilha line array em metros
- A análise dessa expressão nos leva de cara a algumas conclusões. A primeira, que já sabíamos, é que o fenômeno depende da frequência. Assim, quanto mais elevada for a frequência mais extenso será o campo próximo. Podemos ver isso através de um exemplo.

Seja uma pilha line array com 5 metros de altura. Queremos saber até onde se estende o campo próximo a partir da fonte de som para as frequências de 2 kHz e de 10 kHz.

Para os 2 kHz:

$$D_{NF} = \frac{3}{2} 2.25 \sqrt{1 - \frac{1}{30^2}} = 75 \sqrt{1 - 0,00111} = 75 \sqrt{0,999} \approx 75 \text{ metros}$$

E para 10 kHz:

$$D_{NF} = \frac{3}{2} 10.25 \sqrt{1 - \frac{1}{150^2}} = 375 \sqrt{1 - 0,00004} = 375 \sqrt{0,999} \approx 375 \text{ metros}$$

7.6.5 A frequência Inferior A segunda conclusão que podemos tirar da análise da expressão que permite calcular a extensão do campo próximo é que ele não existe para frequências abaixo de $1/3H$ kHz. No caso do nosso exemplo, $1/3.5 = 1/15 = 0,067$ kHz, ou 67Hz.

Essa simples conta mostra claramente que há uma frequência inferior abaixo da qual os

efeitos benéficos da frente de onda coerente não mais ocorrem.

Por sinal, o que já deveria ser esperado. Com efeito, volte um pouco as páginas e veja a expressão 7.2. Proposta há cerca de meio século atrás, ela já permitia, naquela época, calcular a frequência FLA, ou frequência Limite Inferior.

Usando aquela expressão para calcular a FLI no caso da pilha com 5 metros:

$$FLI = \frac{345}{5} \cong 67 \text{ Hz}$$

Veja a coincidência com nosso cálculo anterior.

O novo cálculo está baseado na manipulação matemática simples da expressão 7.9.

Portanto, podemos concluir que FLI é, claramente, função da dimensão H do arranjo.

Outra coisa que devemos entender é que essa limitação ocorre na forma de perda do controle direcional. E isso ocorre exatamente em razão da natureza onidirecional dos transdutores de baixas frequências, os quais lidam com os longos comprimentos de onda daquelas frequências.

No caso da expressão 7.2, a FLI é determinada quando o comprimento de onda é igual à altura H da pilha.

Há especialistas no assunto que preferem entender que o controle direcional é perdido quando o comprimento de onda da frequência atinge a metade da altura H. Como também há os que preferem aceitar que o controle direcional começa a ser perdido quando o comprimento de onda atinge ¼ da altura H.

Para uma altura de 5 metros, podemos resumir o que defendem essas três correntes:

λ/H	Hz
1	67
1/2	134
1/4	268

Esses números mostram uma perspectiva otimista, outra pessimista e, também, um meio termo entre as anteriores.

Porque as figuras não são coincidentes? Por duas razões. A primeira é que a perda não ocorre de modo abrupto. Mas sim gradualmente. Portanto, fixar um limite é uma questão de critério. E os três critérios que prevalecem são exatamente o otimista, o pessimista e o intermediário.

Pessoalmente prefiro ficar com o pessimista, na qual o comprimento de onda é igual a ¼ da altura H. E a expressão passa a ser:

$$\lambda = \frac{H}{4} \Rightarrow \frac{345}{FLI} = \frac{H}{4} \Rightarrow FLI = \frac{4 \cdot 345}{H} = \frac{1380}{H} \quad (7.10)$$

Podemos ver facilmente que para um line array com $H = 1$ metro, a menor frequência sobre a qual ainda se tem controle direcional é 1380 Hz. Para $H = 2$ metros a frequência seria 690 metros, e assim por diante.

7.6.6 O Line array Ideal Podemos resumir os principais aspectos que discutimos como segue: • quanto menor for a distância d entre falantes da pilha line array mais elevada será a frequência beneficiada pela soma coerente de sinais acústicos • quanto maior for a altura H da pilha line array menor será a frequência que ainda permite o controle direcional Então, podemos concluir que o ideal é que a montagem line array tenha espaçamento nulo entre falantes e altura H infinita. Como isso é de realização prática impossível quanto mais próximo do ideal se chegar, melhor.

7.6.7 Cobertura Angular Vamos discutir agora a questão da cobertura angular das montagens line array.

7.6.7.1 Cobertura Horizontal O ângulo de cobertura horizontal de qualquer montagem line array se mantém rigorosamente igual ao de qualquer caixa acústica combinada. Ou seja, não há alteração na cobertura horizontal para quaisquer configurações de line array que queiramos implementar. Portanto, a cobertura horizontal é fixa e invariável em função da quantidade de caixas acústicas utilizadas na pilha.

Os ângulos de cobertura horizontal mais comuns oferecidos pelos fabricantes de sistemas line array são 60° , 90° , 120° e 150° .

Portanto, a escolha se faz em função da arquitetura do espaço a ser projetado. Caso haja necessidade de cobertura horizontal superior a 150° será preciso utilizar mais do que uma só pilha.

7.6.7.2 Cobertura Vertical A escolha da cobertura horizontal é um procedimento rápido e direto. Mas o mesmo não ocorre com a cobertura vertical.

O que é muito bom porque essa é exatamente a raiz das grandes vantagens dos arranjos line array, e mais especificamente, de sua precisão de cobertura quase que cirúrgica.

Se há um efeito quase que óbvio resultante do alinhamento vertical das caixas acústicas é a redução do ângulo de cobertura vertical. Como vimos exaustivamente até aqui.

Porém, o empilhamento em si se desdobra numa série de fatores, sendo que cada um deles acaba por se constituir num determinante importante da cobertura vertical. Portanto, precisamos discutir cada um desses fatores separadamente, e depois fazer uma breve análise de como eles interagem para estabelecer a cobertura.

Esses fatores são: articulação, quantidade de caixas combinadas, formas físicas das pilhas, angulações entre caixas empilhadas, angulação de base, atrasos, variações de níveis, elevação da pilha e processamento dos sinais.

articulação

A figura 7.108 mostra um detalhe típico de montagem de dois elementos vizinhos quaisquer de um arranjo line array. O ponto PA da figura representa o eixo horizontal de basculagem, isto é, o eixo em torno do qual os dois elementos podem ser basculados.

Essa articulação possibilita que os elementos possam ser angulados entre si dentro de certos limites.

Para a grande maioria dos sistemas line array disponíveis no mercado, os ângulos entre os eixos principais podem ser ajustados entre 0° a 12° , geralmente em incrementos de 1° .

Se tomarmos como exemplo o caso de até 12° com incrementos unitários, podemos concluir que um único par de elementos de line array pode ser montado de 13 formas diferentes. Isto é, com seus eixos angulados a 0° , a 1° , a 2° , a 3° , a 4° , a 5° , a 6° , a 7° , a 8° , a 9° , a 10° , a 11° e a 12° .

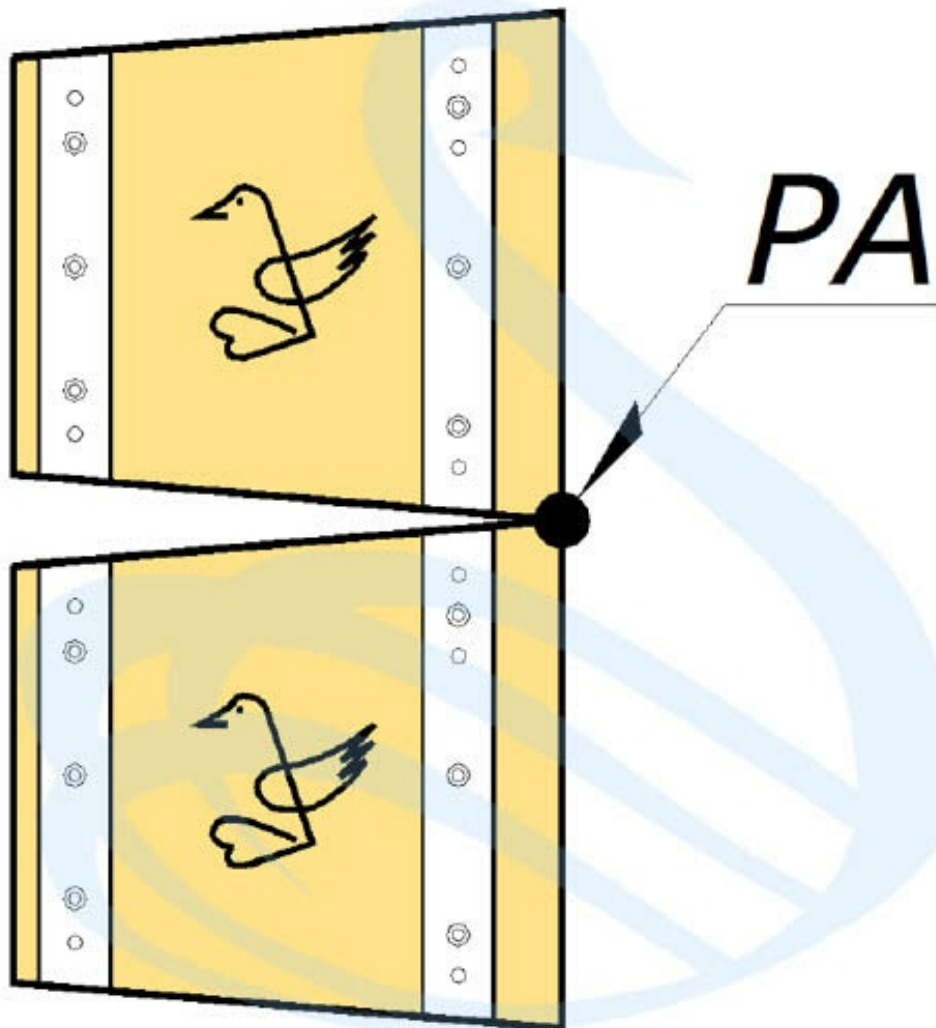


figura 7.108 capacidade de articulação dos elementos de um line array acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne quantidade de caixas combinadas Usualmente, a quantidade de caixas acústicas combinadas numa pilha line array é o resultado do cálculo da mais baixa frequência que ainda se quer controlar.

Por outro lado, vimos que quanto mais caixas são combinadas mais diretiva se torna a cobertura vertical do conjunto. E ocorre que muitas vezes nem há necessidade de que o controle direcional seja exercido até uma frequência muito baixa, mas se torna imperativo aumentar a diretividade do arranjo.

Nesses casos, o aumento das caixas combinadas é necessário, mas não como função da mais baixa frequência sobre a qual ainda se terá o controle direcional.

formas físicas das pilhas Uma vez que é possível angular os elementos das pilhas entre si, é fácil imaginar que há uma enorme quantidade de combinações possíveis com praticamente qualquer quantidade de elementos. Naturalmente, quanto mais elementos houver maior a quantidade de combinações que é matematicamente possível.

Entretanto, todas essas alternativas possíveis podem ser classificadas em 5 grupos, todos ilustrados na figura 7.109.

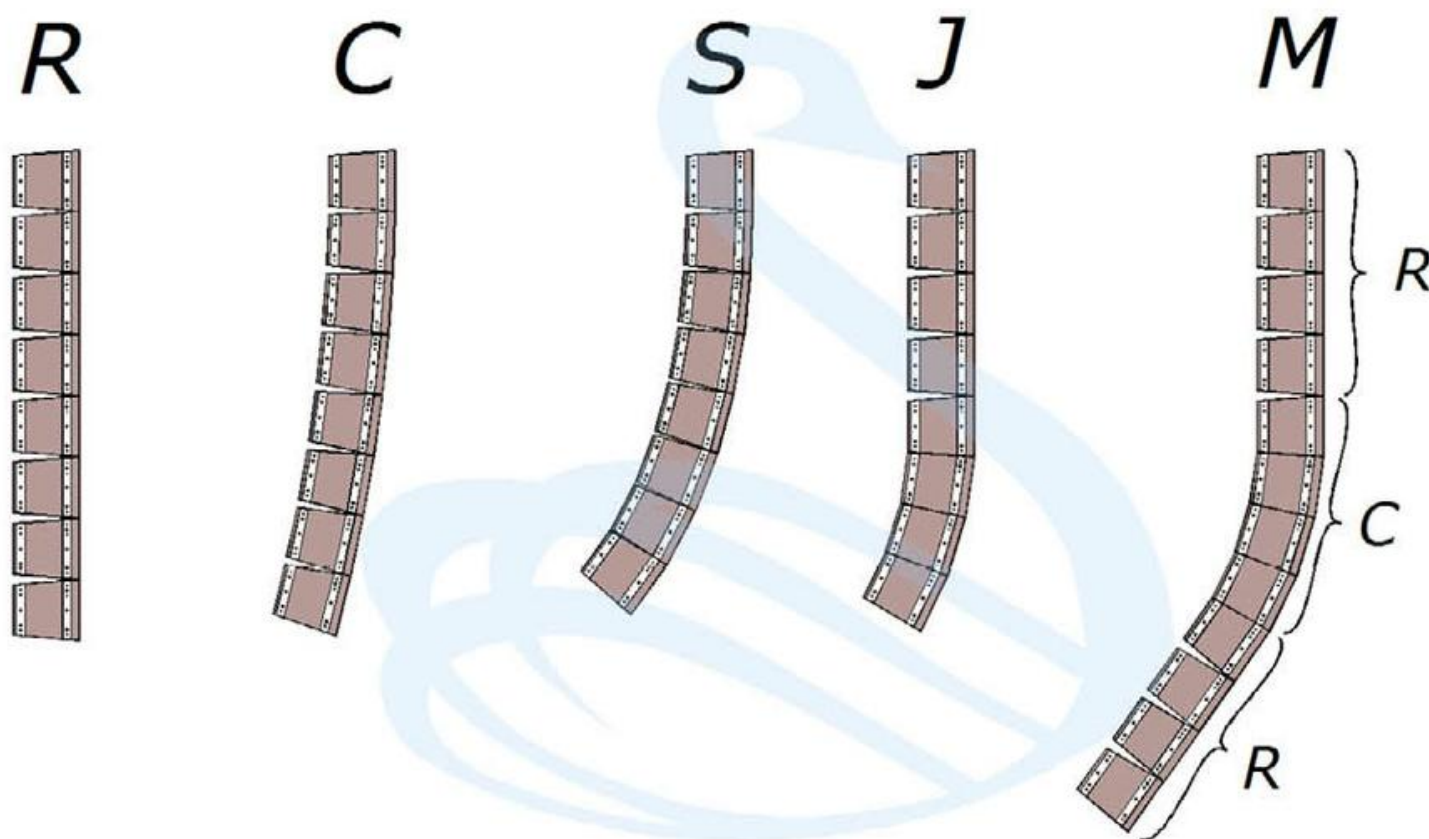


figura 7.109 pilhas line array tipos R, C, S, J e M

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As pilhas tipo R são as retilíneas. Isto é, os ângulos verticais entre os eixos de cada par de caixas vizinhas é 0° . Logo, os eixos de todas as caixas estão alinhados na mesma direção. O detalhe está na figura 7.110.

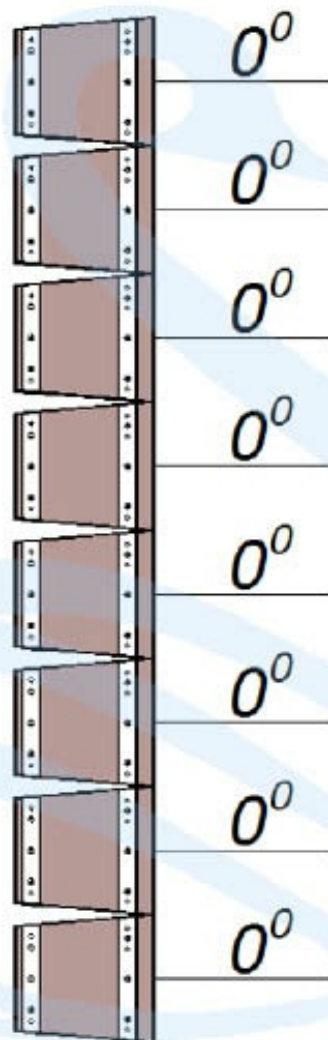


figura 7.110 line array tipo R
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

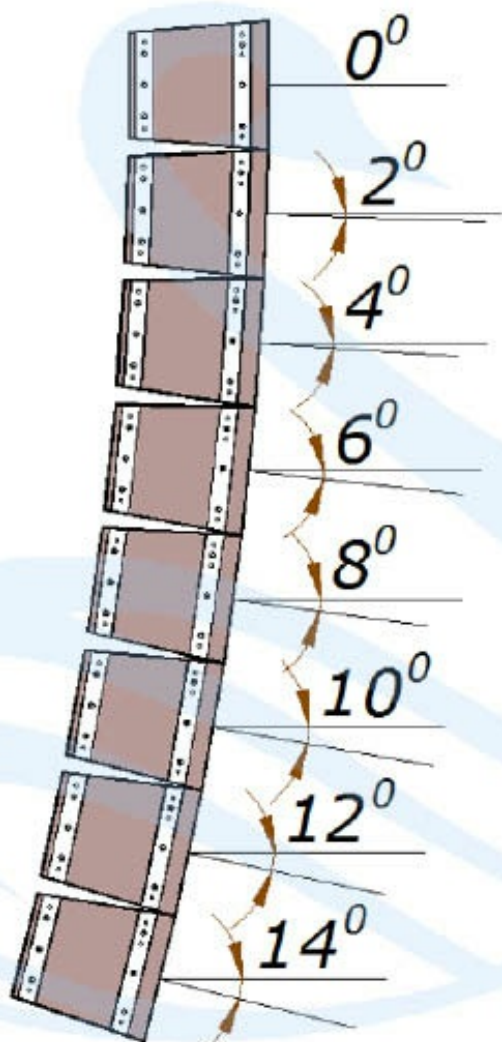


figura 7.111 line array tipo C
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

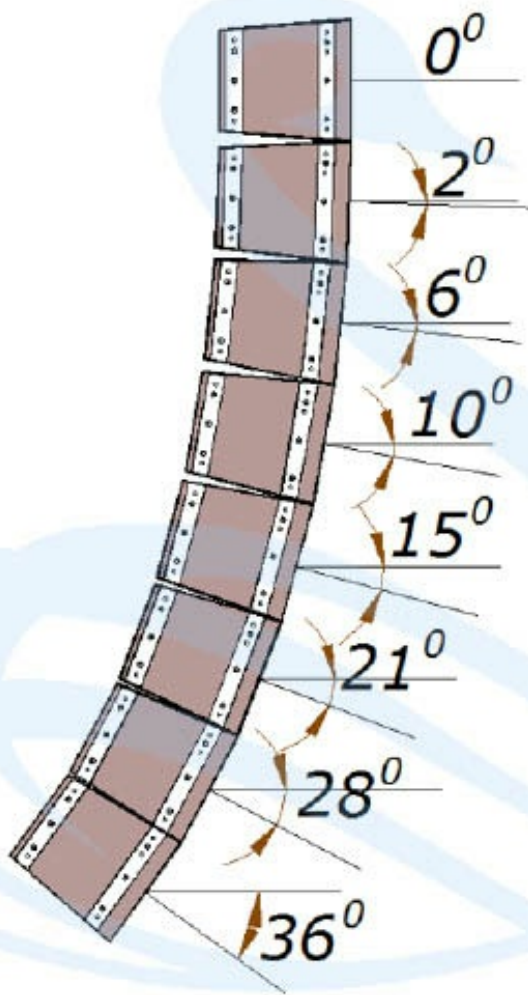


figura 7.112 line array tipo S

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As pilhas tipo C formam um arco perfeito. Para tanto, os ângulos entre os eixos de quaisquer pares de caixas vizinhas são iguais entre si e diferentes de zero. Em razão disso a pilha acaba ficando com formato circular. O que dá o nome ao arranjo. A figura 7.111 mostra uma pilha tipo C.

Nas pilhas tipo S, ou pilhas espirais, os ângulos entre as caixas aumentam progressivamente de uma extremidade para a outra, geralmente de cima para baixo. Como na figura 7.112.

Uma das pilhas mais conhecidas e utilizadas na prática é o tipo J. Como o nome sugere, essas pilhas são compostas de duas partes. A parte superior é tipo R e a inferior tipo C (tipo J1) ou tipo S (tipo J2). A figura 7.113 ilustra as duas alternativas.

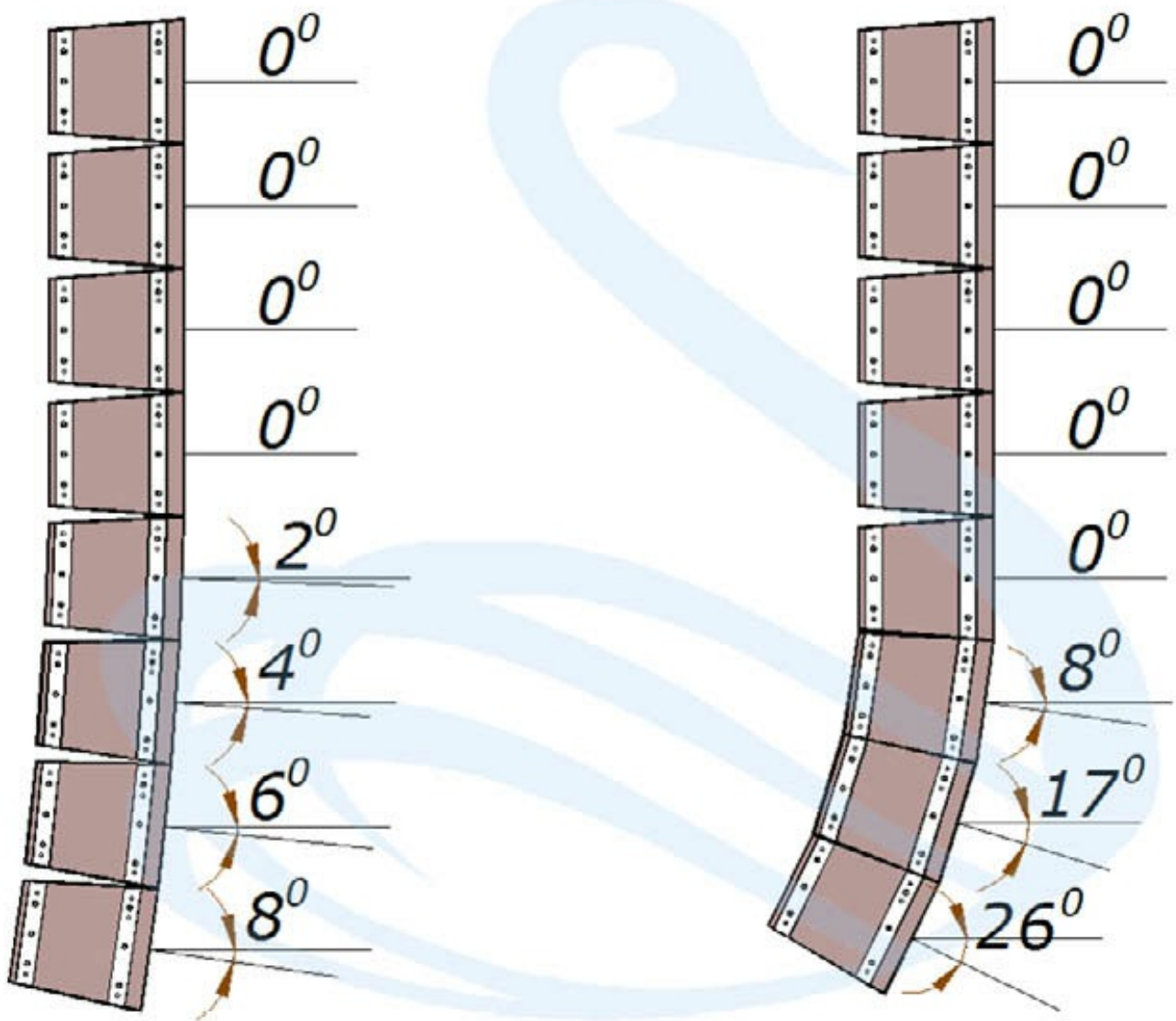


figura 7.113 line array tipos J1 e J2

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O último tipo de pilha line array que discutiremos é o tipo M, ou pilha mista. Ela pode ser formada por qualquer combinação dos tipos anteriores. A figura 7.114 mostra a variante R-C-R entre um enorme leque de variantes possíveis.

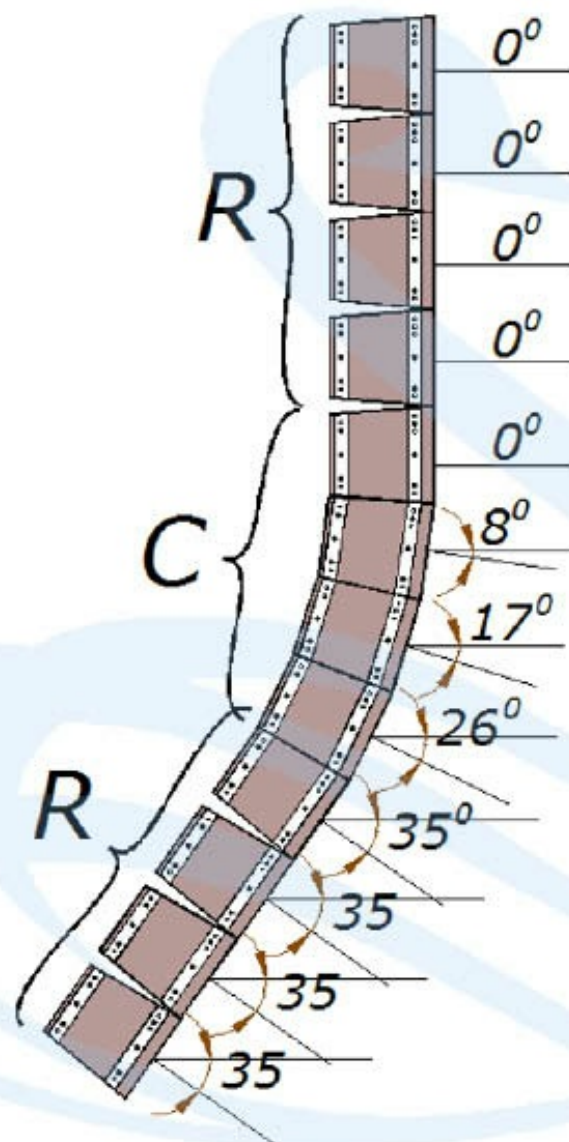


figura 7.114 line array tipo M, variante R-C-R

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne **angulações entre caixas empilhadas** Independentemente dos tipos de pilhas line array que discutimos, para quaisquer deles, exceto para o tipo R, as angulações entre caixas vizinhas podem variar.

Isto é, podemos ter um arranjo line-array tipo C com 4 caixas acústicas, com angulação de 3° entre uma caixa e a vizinha, e angulação total de 9° para todo o arranjo.

Mas também podemos ajustar essas mesmas 4 caixas para angulação entre elementos vizinhos de 8° , o que nos levaria a 24° para o arranjo. Como ilustra a figura 7.115.

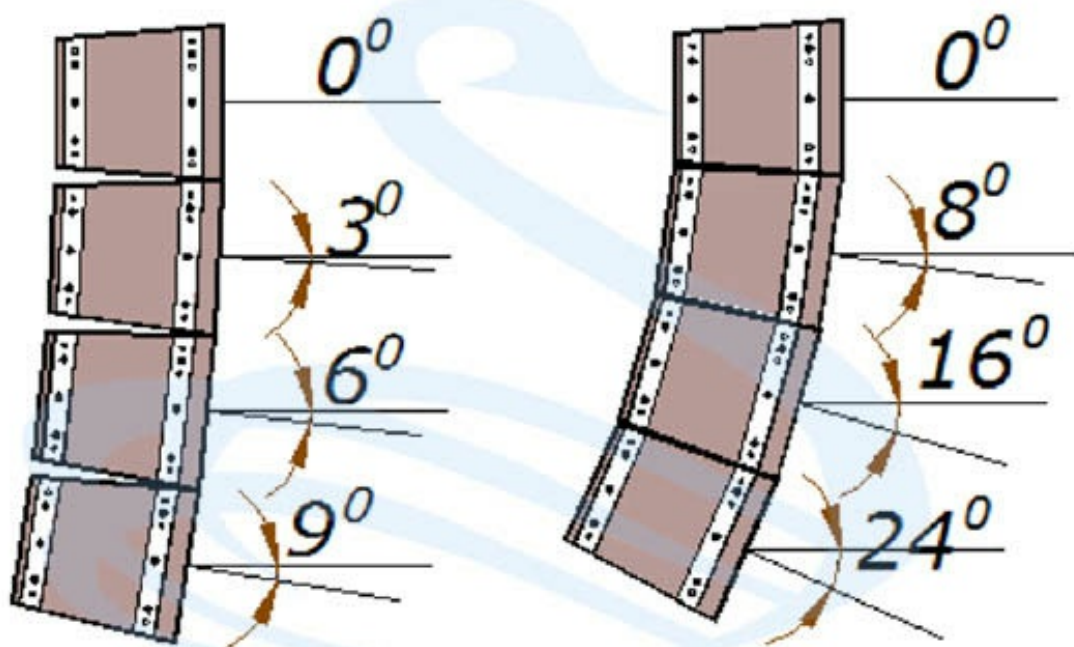


figura 7.115 line array tipo C com angulações totais de 9° e de 24°
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Portanto, devemos pensar que podemos ajustar entre 0° e 12°
(ou menos, dependendo do fabricante) quaisquer pares de caixas vizinhas de quaisquer tipos, exceto o
R. E isso nos leva a uma miríade de possibilidades de combinações.

angulação de base

Qualquer pilha line array fica pendente de uma base, geralmente metálica, que faz parte integrante do conjunto. Assim, a pilha fica suspensa da base, fixada pela caixa acústica superior.

A pilha pode ser instalada de modo que o ângulo principal da caixa superior fique bem horizontal, como na figura 7.116.A, ou com alguns graus de inclinação, podendo chegar aos 15°, como figura 7.116.B. Seja lá qual for essa inclinação inicial, ela afetará a toda a pilha a um só tempo. Seu nome técnico é angulação de base.

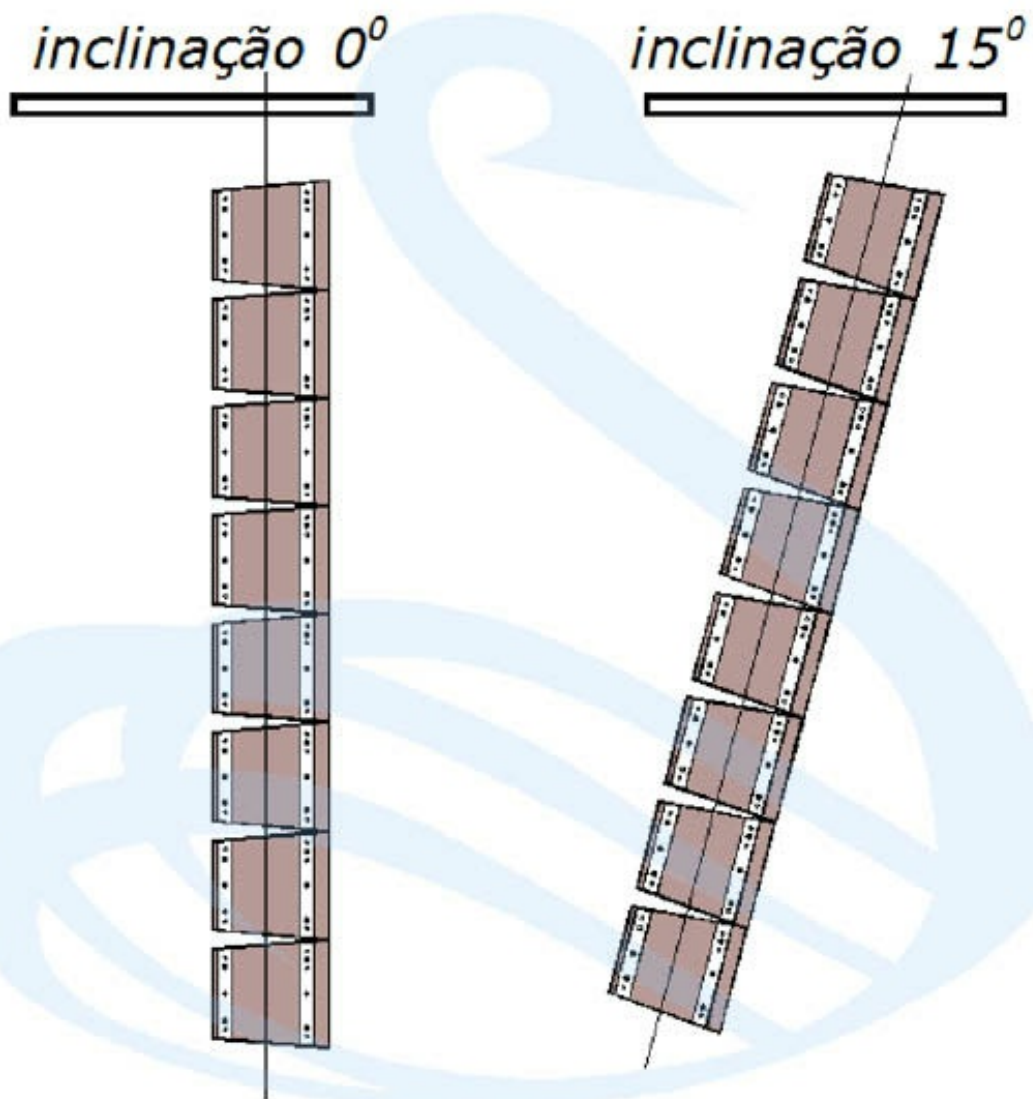


figura 7.116 angulações de base, 0° (A) e 15° (B) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne atrasos
 Considere o desenho do lado esquerdo da figura 7.117.

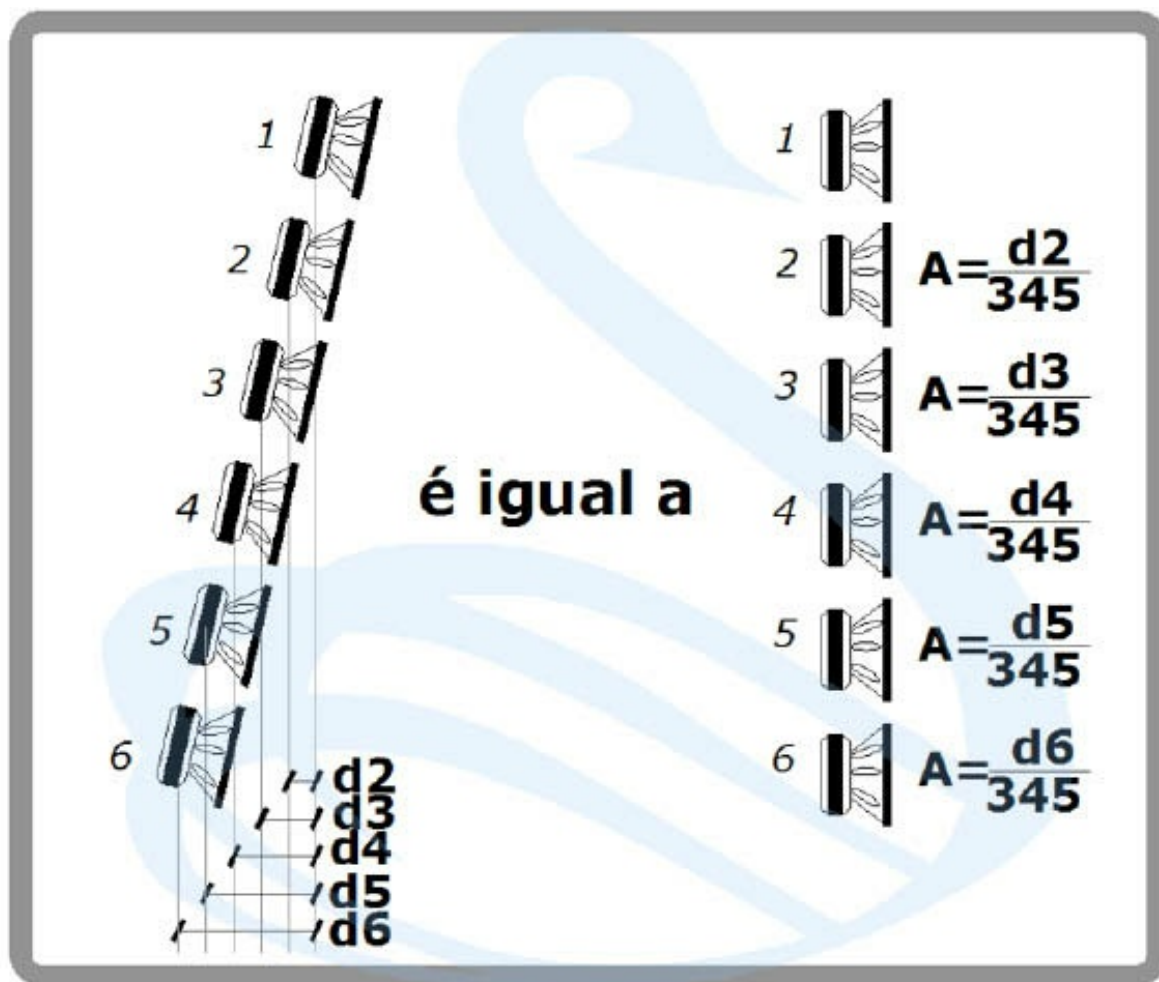


figura 7.117 pilha inclinada e pilha com atrasos sucessivos para simular inclinação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Lá está uma pilha de 6 falantes, com uma certa inclinação em relação à vertical. Se formos medir as distâncias horizontais entre a caixa superior e cada uma das outras, encontraremos d_2 , d_3 , d_4 , d_5 e d_6 , respectivamente. A figura mostra todas essas distâncias.

Ora, então podemos construir uma outra pilha semelhante à primeira, mantendo-a absolutamente vertical e ainda obter resultados semelhantes ao da pilha anterior. Para chegar a isso basta que apliquemos atrasos correspondentes às distâncias antes mencionadas. Como ilustra o desenho do lado direito da figura.

variações de níveis

Os elementos de qualquer pilha line array não precisam receber o mesmo nível de potência. E essa assimetria energética não elimina nem atenua os efeitos que estudamos até aqui. Apenas ajuda a configurar um determinado padrão de diretividade do conjunto.

Assim, é perfeitamente possível modelar padrões para praticamente quaisquer necessidades de cobertura vertical.

elevação da pilha

Outro parâmetro que influencia diretamente na cobertura vertical da pilha vertical é sua altura física em relação ao piso do espaço onde deve ser instalada.

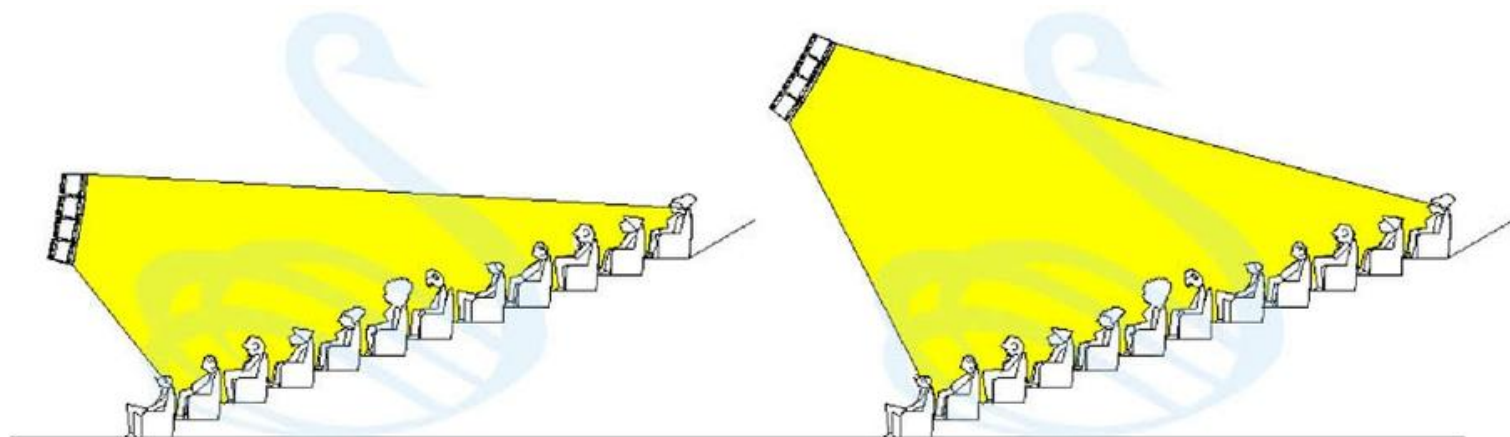


figura 7.118 pilha line array mais baixa e pilha line array mais elevada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nem precisaríamos da figura 7.118 para dizer, até mesmo por intuição, que quanto mais baixa ficar a pilha, maior será a diferença de pressão sonora entre as regiões frontal e posterior da platéia.

Evidentemente, isso não ocorre só com as pilhas line array, mas com qualquer cluster de falantes. Ainda assim, este é um fator que precisa ser levado em conta com todos os demais vistos até aqui. E que ninguém julgue que a elevação do cluster é um mero detalhe. Realmente não é.

processamento dos sinais Muita gente acredita que os sistemas line array exigem processamento digital de sinais de grau de dificuldade extremado. O que até pode ocorrer. Especialmente quando se quer fundir o conceito line array com novas tecnologias, a exemplo da FAT (Filtered Array Technology) e da GAT (Gradient Array Technology).

Embora a técnica FAT seja uma tecnologia relativamente difícil, creio que posso abordar um exemplo simples de desenho FAT.

Imagine a aplicação de filtros passa-baixas com frequências de corte sucessivamente inferiores para falantes progressivamente mais afastados das extremidades das pilhas. O resultado disso é a obtenção de uma pilha virtualmente mais longa para as baixas frequências e virtualmente mais curta para as frequências mais altas. E assim o padrão de dispersão torna-se muito mais homogêneo para todas as frequências, e o grau de dependência da frequência, próprio da distância crítica, torna-se muito menor.

Entretanto, os arranjos line array podem operar perfeitamente bem com processamento básico. Neste caso, as principais funções de processamento são a divisão de frequências, a equalização e o atraso de sinais.

A prática mostrou de forma inequívoca que as sobreposições das respostas de frequência das diferentes vias, ilustradas na figura 7.119, constituem um dos fatores que mais impõe a degradação dos resultados em quase todos os sistemas line array.

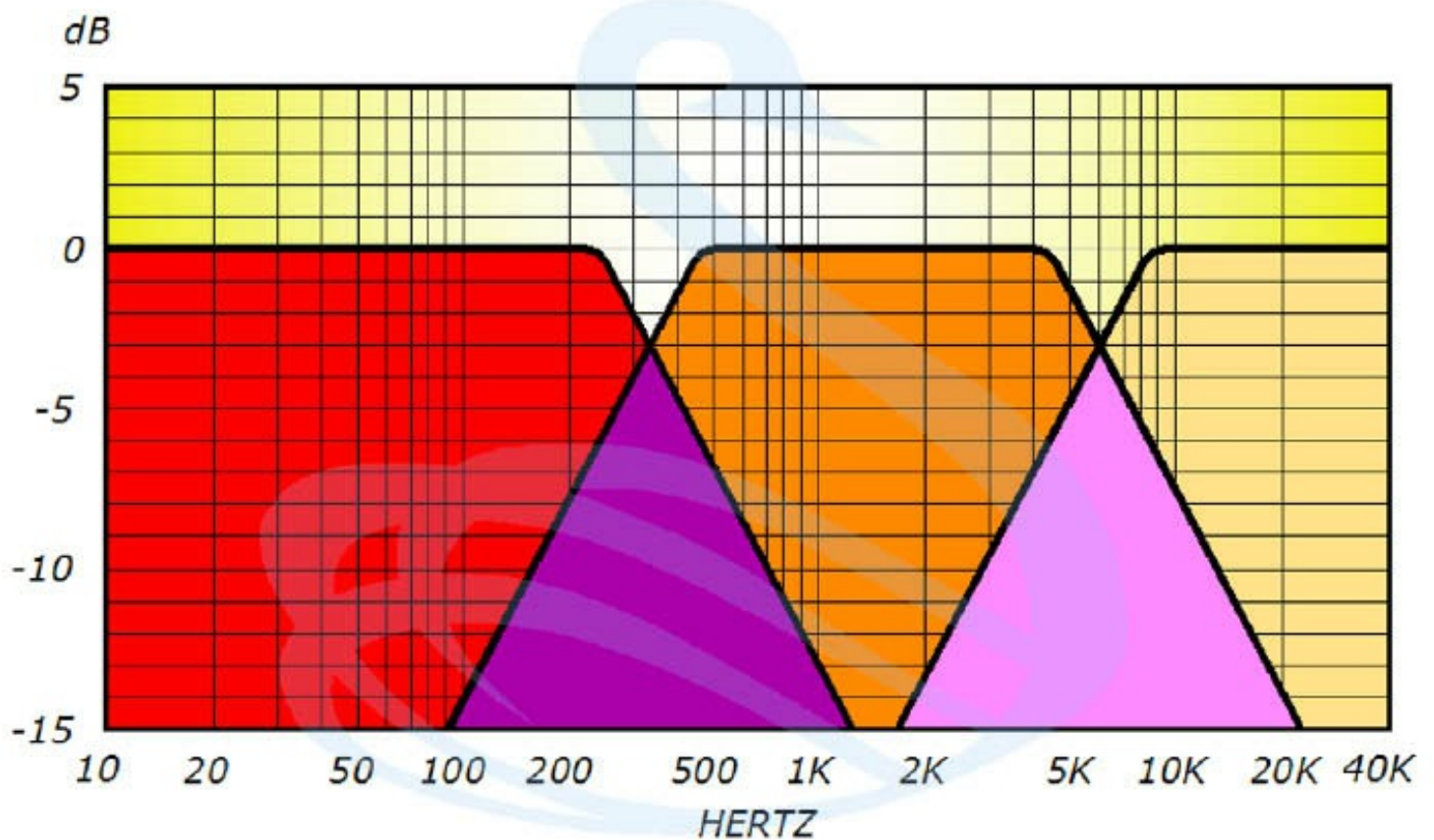


figura 7.119 sobreposição de respostas de vias adjacentes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

Portanto, faz-se mister amenizar o problema. E a forma mais direta de fazê-lo é empregando crossovers equipados com filtros de ordem muito elevada, jamais inferiores à 4ª ordem. Os resultados obtidos com esta técnica são esquematizados na figura 7.120, que é a minimização das regiões de sobreposição.

A equalização pode se fazer necessária por motivos específicos. Os dois mais comuns são o controle de eventuais lóbulos espúrios de cobertura que podem surgir e a compensação dos efeitos da atenuação do ar, que também é função da frequência.

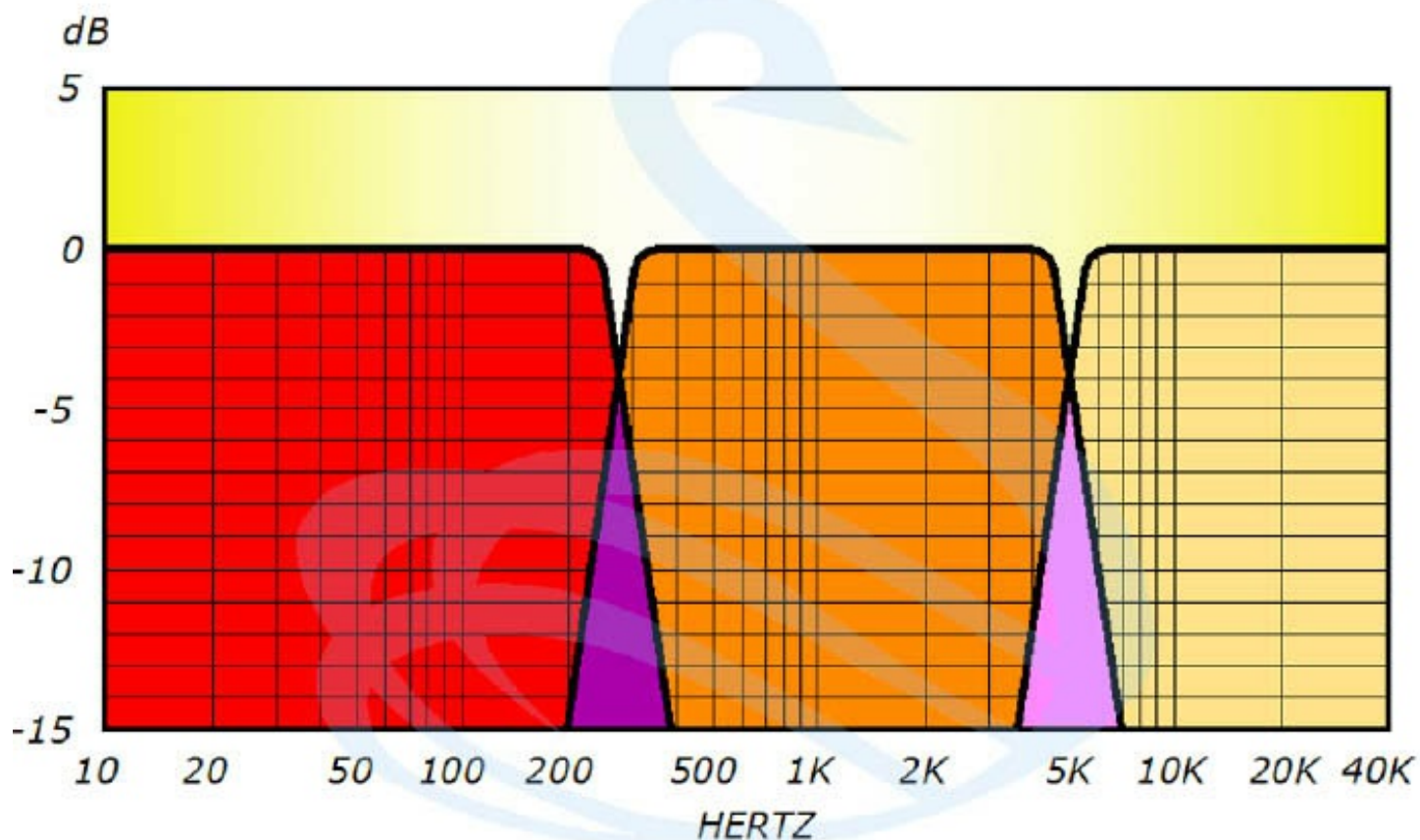


figura 7.120 sobreposições esperadas com os filtros de 4ª ordem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Por outro lado, os atrasos são usados para simular os efeitos de inclinação das pilhas, como na **figura 7.117.**

Não poderíamos falar de processamento em sistemas line array sem falar de filtragem DSP FIR e IIR. FIR é anacronismo para Finite Impulse Response, ou Resposta a Impulso Finito e IIR é anacronismo para Infinite Impulse Response, ou Resposta a Impulso Infinito.

Pois bem, a filtragem IIR baseada em processamento DSP é semelhante aos crossovers analógicos, nos quais as amplitudes e fases guardam relações fixas. Assim, as atenuações e cortes alteram a resposta de fase na mesma proporção de sua magnitude.

Já os filtros FIR, também baseados em processamento DSP, podem manipular fase independentemente de amplitude. Portanto, podendo compensar as atenuações relacionadas com distâncias entre falantes, desde que cada falante seja submetido a seu próprio controle DSP.

Esse princípio pode ser levado muito à frente, possibilitando o uso de técnicas FAT muito avançadas e de altíssima complexidade.

Alguns sistemas line array de preço mais elevado já começam a usar essa técnica que, em minha opinião, é o caminho para o futuro ainda mais promissor de todos os line array.

Minha intenção é lançar aqui os fundamentos básicos e preliminares para que você possa desenvolver esse aspecto. Para tanto, pretendo que você tenha uma compreensão básica dos filtros FIR de modo que vir, em futuro breve, aplicar essa tecnologia em seus projetos e em suas instalações.

7.6.8 Aplicação dos Sistemas Line array Os sistemas line array podem ser aplicados a quaisquer locais, abertos ou fechados, sem restrições. Em princípio, há um único tipo de ambiente que os sistemas line array não são utilizados de maneira vantajosa. São aqueles com pé direito muito reduzido.

Os primeiros produtos de última geração que discutimos são todos muito grandes. Eles foram desenhados especificamente uso em grandes espetáculos, feitos em locais com capacidade mínima de 10 mil pessoas.

Depois vieram os sistemas chamados compactos, projetados para ginásios, para pequenas e médias igrejas e locais com características semelhantes.

Recentemente foram lançados alguns produtos muito pequenos, imaginados para pequenas salas. Alguns dos quais pude avaliar. Em minha opinião, estes últimos não resistiram aos primeiros cálculos, nem tampouco aos testes auditivos que fizemos, praxe que utilizamos com cada produto que pretendemos aplicar em nossos projetos. A análise cuidadosa de todas as expressões anteriores pode mostrar sem dificuldades porque os sistemas de dimensões muito reduzidas não proporcionam bons resultados.

7.6.8.1 O Trabalho do Projetista Uma vez que o ambiente tenha sido definido pelo usuário, compete ao projetista escolher que sistema vai empregar e como fazer para obter a melhor cobertura acústica que conduza aos resultados de qualidade esperados.

Como discutido no início do capítulo 6.

Se a opção for pelo sistema line array, o projetista terá que definir a cobertura horizontal dos sistemas, quantas caixas acústicas serão utilizadas em cada pilha, como a pilha será articulada, qual será seu formato (R,C, S, J e M), que ângulo de base e que ângulos entre as caixas serão usados, se não forem utilizadas pilhas R, com que níveis trabalhará cada caixa da pilha, qual será a elevação da pilha, qual será sua inclinação, se essa inclinação, se houver, será obtida por meios físicos ou eletrônicos e, finalmente, que processamento de sinais deverá ser utilizado.

o primeiro passo

O primeiro passo é definir a cobertura horizontal. Tarefa fácil, rápida e direta. O simples conhecimento do local, ou mesmo a avaliação de seus desenhos arquitetônicos é tudo o que é preciso para se definir a angulação horizontal mais conveniente.

o segundo passo

O próximo parâmetro a definir é a quantidade de caixas acústicas a utilizar na pilha. Essa questão tem o lado técnico, que é o estabelecimento da mais baixa frequência sobre a qual

ainda se quer manter o controle de diretividade, e o lado orçamentário, já que quanto mais caixas houver nas pilhas, maior será o investimento.

A primeira parte é de competência do projetista. A segunda é algo que ele terá que discutir e decidir com o cliente, que é quem paga a conta.

o terceiro passo

A seguir vem a questão da definição da forma da pilha. Ou seja, o projetista deverá optar entre uma pilha R, ou C, ou S, ou J ou M.

Essa decisão requer um mínimo de informações sobre a cobertura de cada tipo de pilha.

Bem, vamos a isso.

O tipo R é o que mais concentra energia no menor ângulo vertical possível. Como resultado, entre todas as alternativas esta é a que mais longe arremessa o som.

O tipo C já dispersa a mesma energia para um ângulo vertical maior, mantida a mesma quantidade de caixas acústicas. Logo, o som tem maior dispersão no plano vertical às custas da redução do arremesso em relação ao caso anterior.

Naturalmente, esse efeito de aumento de dispersão progride na proporção do aumento da angulação entre as caixas empilhadas.

O tipo S apresenta o mesmo efeito que o tipo C, porém, agora este é um efeito variável na proporção da progressividade dos ângulos feitos entre as caixas empilhadas.

O tipo J, construído com duas seções, apresenta os comportamentos de cobertura vertical dessas mesmas seções. Ou seja, a seção superior, tipo R, é caracterizada por um arremesso longo, porquanto a seção inferior, tipo C ou tipo S, tem arremesso de maior dispersão e menor alcance, de acordo com as angulações respectivas.

Finalmente, as pilhas tipo M apresentarão quaisquer coberturas, mas sempre em conformidade com os tipos de seções combinadas.

Isto posto, vejamos com desenhos práticos que opções poderíamos fazer para alguns casos muito típicos.

A figura 7.121 mostra um ginásio tipo arena. Esta é uma forma arquitetônica muito comum, usada, por exemplo, no Ginásio do Ibirapuera em São Paulo e no Maracanãzinho no Rio.

Observe que a fonte de som pode ser central, e assim, ficar relativamente longe da área a ser coberta, que é a área das arquibancadas.

Outra coisa a observar é que, no plano de audição dentro da área a ser coberta, a maior distância até a fonte e a menor distância até a fonte não são muito diferentes.

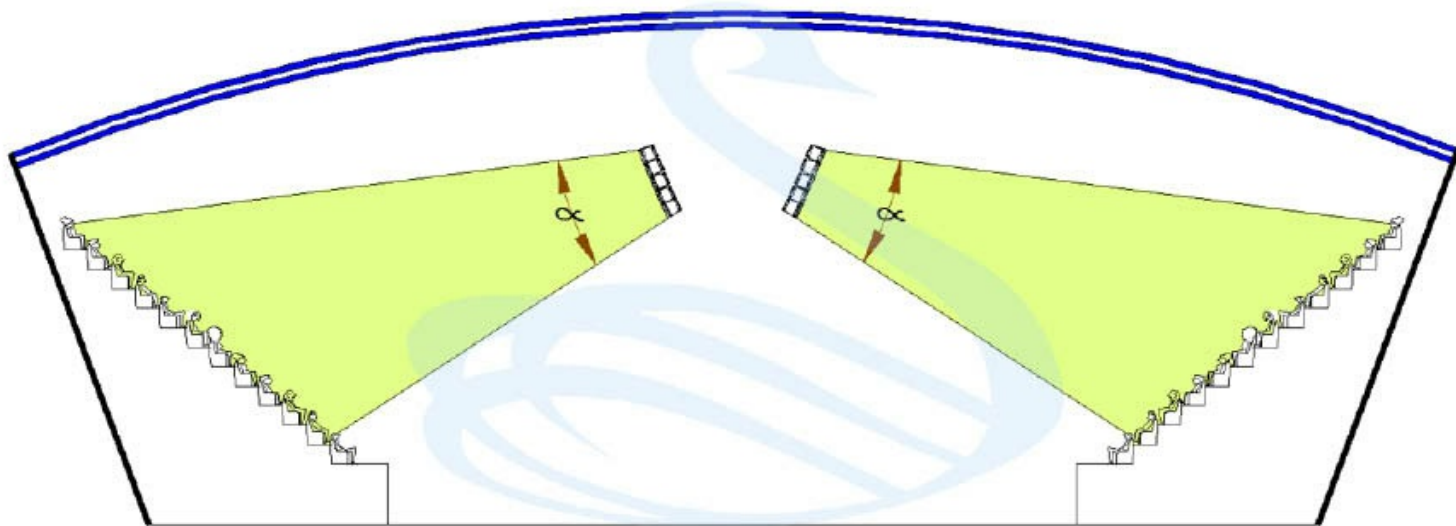


figura 7.121 ginásio tipo arena - arquibancada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Finalmente, a figura também evidencia que o ângulo de cobertura vertical “ α ” é reduzido (26°). Em conjunto, essas condições praticamente determinam a possível melhor alternativa de escolha de line array. Que é a pilha tipo R, como ilustra a figura 7.110. Portanto, a partir deste ponto as condições para a aplicação das pilhas tipo R são conhecidas.

Pensando no mesmo ginásio tipo arena, imagine agora que só queiramos cobrir as áreas mais escuras da figura 7.122. Isto é, as cadeiras de pista. Em relação ao caso anterior podemos pontuar as seguintes alterações: a distância entre a fonte de som e a área a ser coberta é bem menor, a área não é mais tão equidistante e, finalmente, o ângulo de cobertura vertical “ β ” (33° reais) é maior do que “ α ”. Para esse novo conjunto de condições uma das boas opções seria pelos tipos C ou S, dependendo apenas dos detalhes geométricos de cada caso.

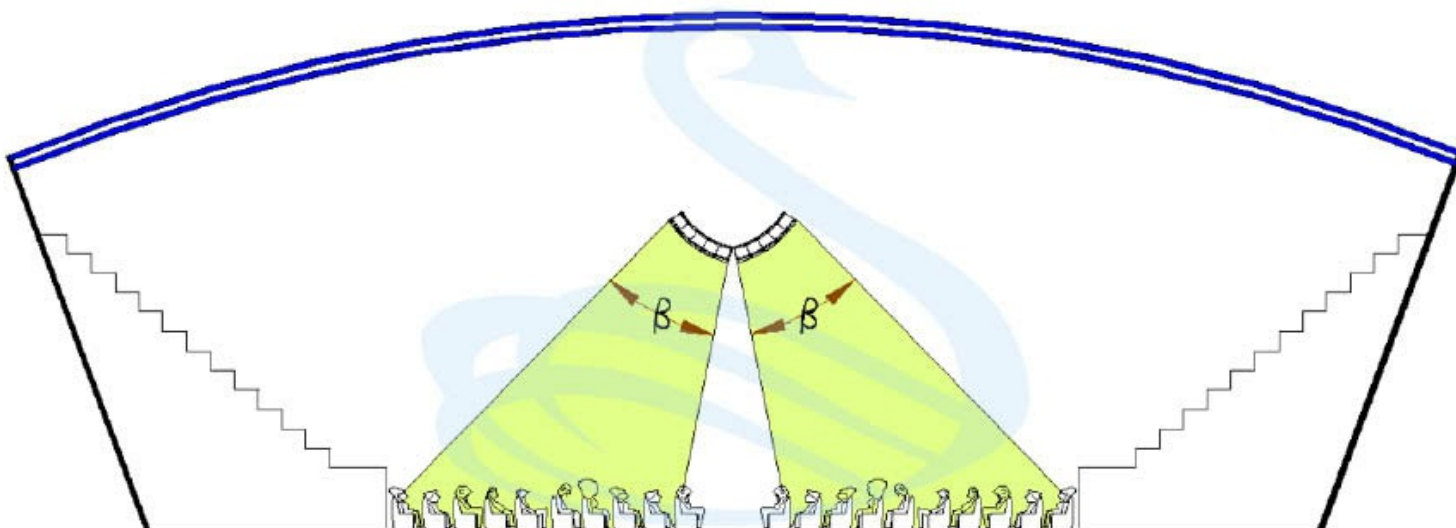


figura 7.122 ginásio tipo arena – cadeiras de pista acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ainda no mesmo ginásio, imagine agora que queiramos cobrir acusticamente as duas áreas que cobrimos anteriormente, mas de forma isolada. Ou seja, queremos a situação esquematizada na figura 7.123. Uma das maneiras de se prover boa cobertura vertical para essa combinação é combinando os tipos indicados nas figuras 7.121 e 7.122.

Claro, estamos falando das pilhas tipo J.

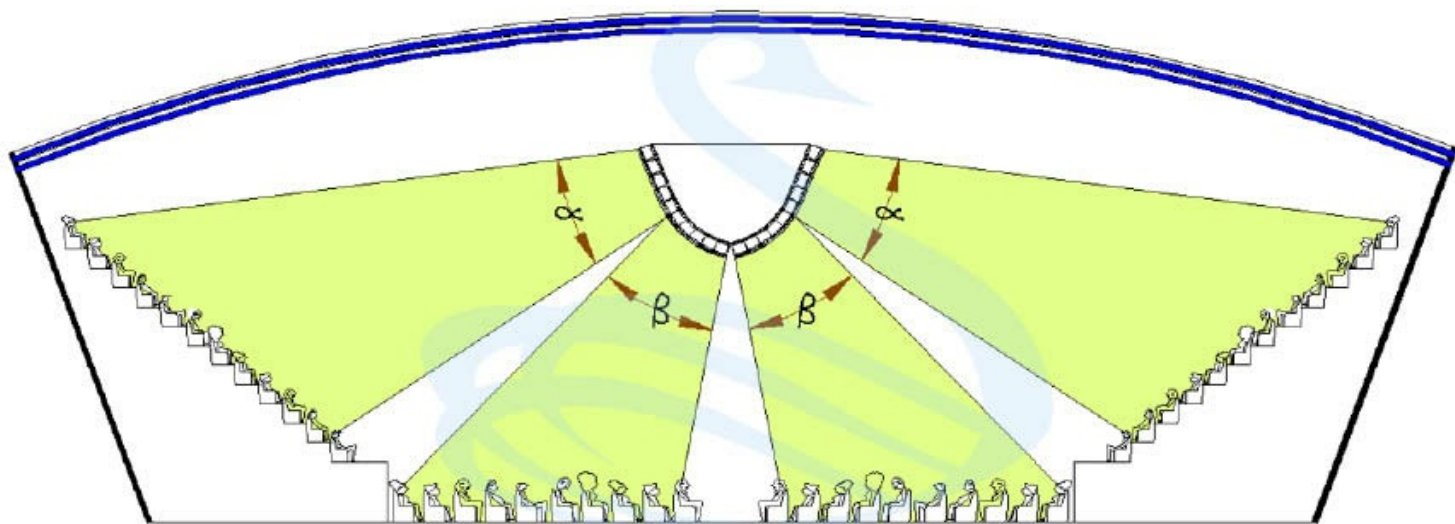


figura 7.123 ginásio tipo arena – arquibancada + cadeiras de pista acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Também podemos pensar num espaço com platéia muito irregular, como mostra a figura 7.124. Num local como esse poderíamos pensar numa pilha M com as características indicadas na figura. Note que usamos duas seções R. E não podemos chamá-las de uma só seção, pois elas apresentam angulação entre si.

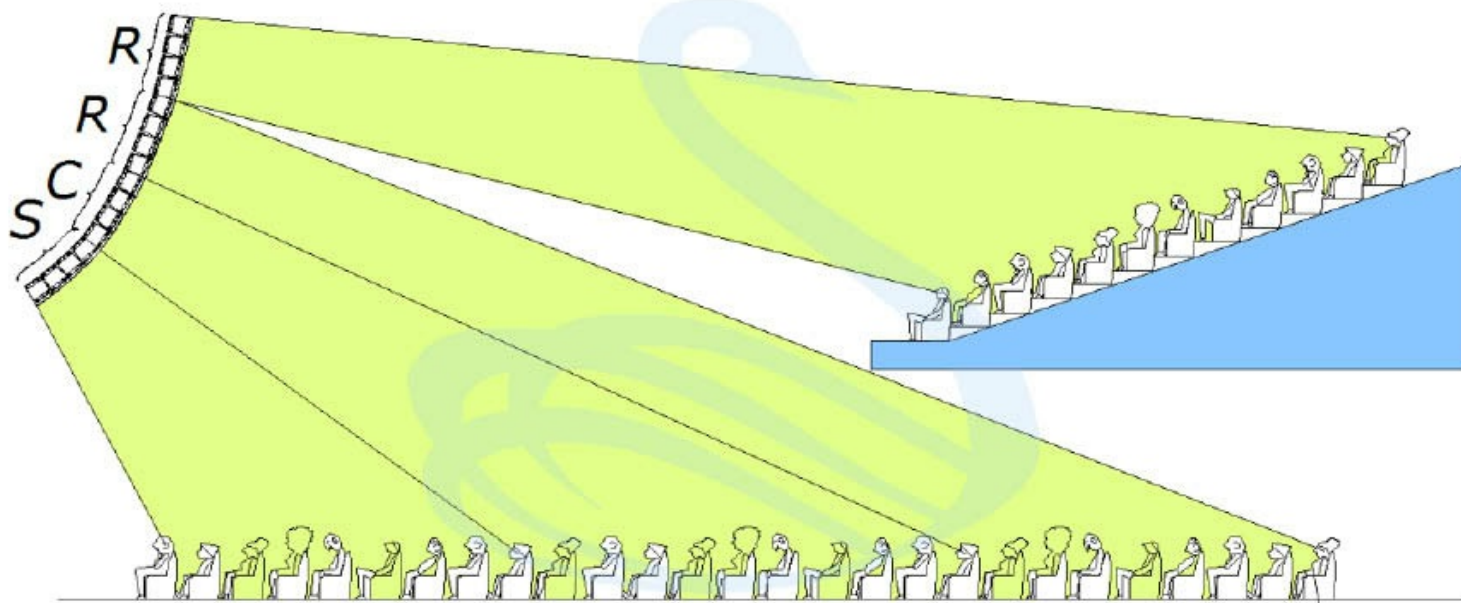


figura 7.124 espaço com platéia bem irregular acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne o quarto passo

Estabelecidos os tipos de pilha line array a próxima questão para o projetista é definir as angulações entre caixas e a angulação de base.

Embora a solução dessa questão seja praticamente uma fórmula intuitiva, há inúmeros softwares que ajudam e facilitam esta tarefa para o projetista.

A maioria dos fabricantes oferece essa ferramenta. Você, meu caro leitor, pode experimentá-las. Há muitas delas disponíveis nos sites dos fabricantes. E obviamente elas trabalham na condição “off line”.

De qualquer forma, a definição dessas angulações objetiva conter a área a ser coberta dentro da cobertura da pilha, com um mínimo de desvios e um máximo de homogeneidade.

o quinto passo

Embora se diga que mesmo que as caixas empilhadas operem com níveis diferentes ainda há a frente de onda coerente, muitos advogam que a coerência é bastante afetada pelo

procedimento. Tão mais quanto maior é o desnível.

Mesmo sem ter feito testes específicos sobre essa questão, concordo com essa corrente de pensamento em função das experiências práticas que tive oportunidade de fazer em minhas instalações. Entendo que a coerência realmente acaba sendo prejudicada. Portanto, procure não trabalhar com níveis diferentes nas caixas combinadas.

Pense em argumentos como o ilustrado na figura 7.124.

Num arranjo tipo J, a seção superior terá arremesso natural mais longo que a seção inferior, tipo C ou S. Se todas as caixas acústicas estiverem submetidas ao mesmo nível de energia elétrica, os níveis de pressão sonora tenderão a ser semelhantes nas áreas cobertas pelas duas seções. Como sugere a figura 7.124.

Esse é apenas um exemplo, mas serve de base para praticamente todos os tipos de sistemas line array.

o sexto passo

A elevação já deve ter sido tratada juntamente com as definições de angulações entre caixas e angulação de base.

Mas caso esse aspecto tenha sido deixado para ocasião mais oportuna, esse será o sexto passo.

o sétimo passo

Quanto ao processamento, embora veja com bons olhos o processamento DSP mais complexo implementado elemento a elemento de um line array, creio que uma parte de mim ainda advoga a preferência pelo uso do mínimo processamento praticável.

Vou dar um exemplo disso. Por razões físicas, com o aumento da distância, o som radiado por um sistema line array perde mais altas frequências do que médias, e mais médias do que baixas. Há uma tendência universal de se tentar compensar esse efeito natural com a equalização artificial. Por exemplo, reforçando as altas frequências e atenuando as baixas, especialmente para grandes distâncias.

Ora, uma tentativa de compensação total dessa condição levaria necessariamente a algo pouco natural e não esperado pelas pessoas. Porque, de fato, cada um de nós se habituou, durante toda a vida, a receber sinais acústicos distantes, nos quais as altas frequências são muito atenuadas enquanto as médias nos chegam com atenuação mediana.

Procure lembrar como lhe chega o trovão de um raio que cai muito próximo de onde você está. E agora faça o mesmo exercício pensando no trovão de um raio que cai muito longe. E compare os dois. Se você não puder imaginar essa situação não perca a oportunidade de fazer pesquisa durante a próxima tempestade.

Ainda há que se considerar que os efeitos de atenuação dos sinais impostos pelo ar já é

uma forma natural de compensação do efeito próprio dos sistemas line array, de maior alcance progredindo com o aumento da frequência.

É por isso que penso que o excesso de zelo pode levar a uma condição um tanto ou quanto desconfortável para os ouvintes.

Também não recomendo usar o expediente do atraso eletrônico para simular inclinações das pilhas. Embora isso seja um “recurso” tecnológico, ele apresenta várias limitações. Prefira a solução natural. Isto é, incline a pilha fisicamente. Além de tudo, é mais barato porque se usa menos eletrônica. Fora isso, o todo acaba sendo mais confiável.

7.6.9 Trapézios

Assim como os triângulos podem ser muito problemáticos, os trapézios também podem. Vejamos.

Se pensarmos num caso típico de sistema de reforço de som numa praça de uma grande cidade ou numa sala retangular construída para espetáculos musicais, vamos constatar que muito dificilmente há condições para ajustar devidamente a cobertura acústica de um só falante, de um cluster ou de uma pilha line array à área da plateia do local aberto ou fechado.

Quando falo em “ajustar devidamente” me refiro a uma condição muito específica na qual todas as regiões da plateia acabam recebendo sons diretos com quantidade controlada de reflexões, e as demais áreas, que não devem nem precisam receber sons diretos ou quaisquer outros, recebam um mínimo de energia.

Bem, se isso é muito difícil de obter na prática, então o que ocorre tipicamente? O que ocorre tipicamente são coberturas acústicas com deficiências em maior ou menor grau. Senão, vejamos.

Um dos problemas de cobertura acústica mais conhecidos entre os profissionais do áudio é o chamado efeito trapézio. Ele resulta de dois fatos. O primeiro é quando olhamos um retângulo de uma posição que está acima do plano do retângulo, os limites dessa figura geométrica acabam parecendo um trapézio. Trata-se de uma mudança aparente de figura geométrica produzida por um fenômeno conhecido como paralaxe.

A figura 7.125 mostra o conhecidíssimo Concert Hall Concertgebouw, de Amsterdam, com uma fotografia tirada do palco, de uma altura de cerca de 2,0 metros, com visibilidade para a plateia que, infelizmente, acabou sendo ceifada em seus cantos frontais.



figura 7.125 o famoso Concertgebouw, Amsterdam acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

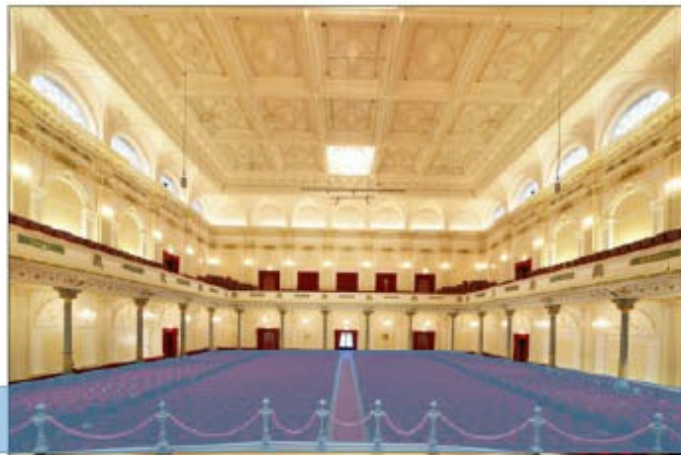


figura 7.126 o espaço da figura 7.125 com a plateia vista de uma posição pouco abaixo de onde ficaria o canal central acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.126 é a mesma foto da figura 7.125, mas com a adição de como a área da plateia, que é retangular, acaba parecendo um trapézio para quem vê essa área do palco, a uma altura de aproximadamente 2,0 metros. Esse trapézio é o trapézio de cor azul semi transparente na figura.

Tal trapézio seria, portanto, aproximadamente o que se “enxerga” de uma posição pouco abaixo do local onde tipicamente ficaria o canal central de um sistema de reforço de som.

Isto posto, imagine agora uma pilha vertical line array com formato retilíneo, construída com seis caixas acústicas. Essa pilha foi ligeiramente inclinada de sorte que a parte superior ficasse mais proeminente, como ocorre em praticamente todos os casos de line array. Nosso interesse agora é saber como fica projetada a cobertura acústica da pilha na audiência. Para nos ajudar com isso desenhei a figura 7.127.

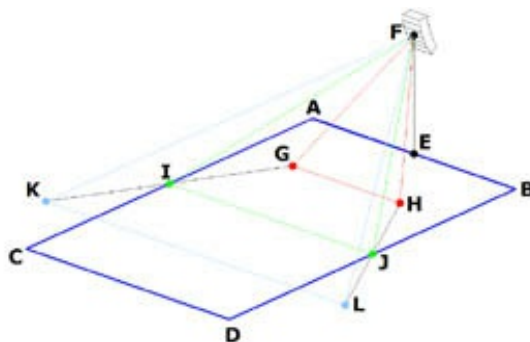


figura 7.127 a geometria da plateia versus geometria da cobertura acústica da pilha acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vejamos os destaques geométricos dessa figura. A plateia é representada pelo plano definido pelos pontos A, B, C e D, indicada com as linhas azuis escuro mais espessas. O ponto E fica bem no centro da reta AB. E alguns metros acima dele está o ponto F, que coincide com o centro acústica da pilha line array com seis caixas acústicas, todas iguais. O que é outra característica típica dos sistemas line array. Concorda?

Atenção agora para o triângulo IFJ, indicado com a verde claro. Ele representa a cobertura horizontal da pilha sobre a plateia. Que, nesse caso, coincidiu com a necessidade. Veja agora o

triângulo GFH. O ângulo de cobertura horizontal é o mesmo que o do triângulo IFJ. Entretanto, como o triângulo GFH é bem menor que IFJ, a reta GH é proporcionalmente menor a reta IJ. Como essas duas retas representam a cobertura horizontal da pilha sobre a plateia, vemos que quanto mais as retas da família IJ e GH se aproximam de AB, mais deficiente se torna a cobertura.

Vejamos agora o triângulo KFL. O correspondente ângulo de cobertura horizontal é o mesmo que o do triângulo IFJ. Mas em razão das diferenças de tamanho, a reta KJL é bem maior que a reta IJ. Agora, a cobertura horizontal passa a ser maior do que é preciso à medida em que a reta da família IJ e KL se aproxima do fundo da plateia.

Em outras palavras, a cobertura horizontal da pilha é projetada sobre a área da plateia como um trapézio. No caso da figura 7.127, que nem chega a cobrir toda a área da plateia, o trapézio é o GHLK. Novamente a questão da paralaxe, anteriormente citada.

Vejamos esse aspecto usando o mesmo exemplo do Concertgebouw de Amsterdam.

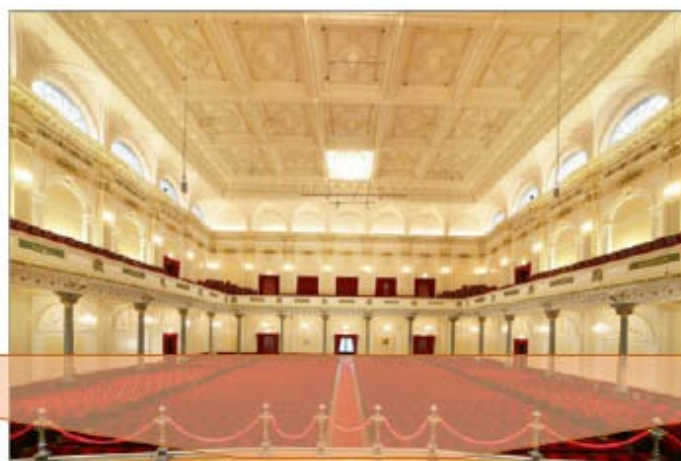


figura 7.128 a projeção da cobertura acústica da pilha sobre a plateia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Então, esse trapézio seria algo aproximadamente como sugere a figura 7.128.

Acredito que não é preciso ter grandes conhecimentos de geometria espacial para entender que temos que lidar simultaneamente com dois problemas. Um deles é como a pilha “enxerga” a área da plateia. O outro é como a cobertura da pilha é projetada na mesma plateia. Bem, o melhor é comparar diretamente esses dois trapézios dos quais falamos até aqui. É o que mostra a figura 7.129.

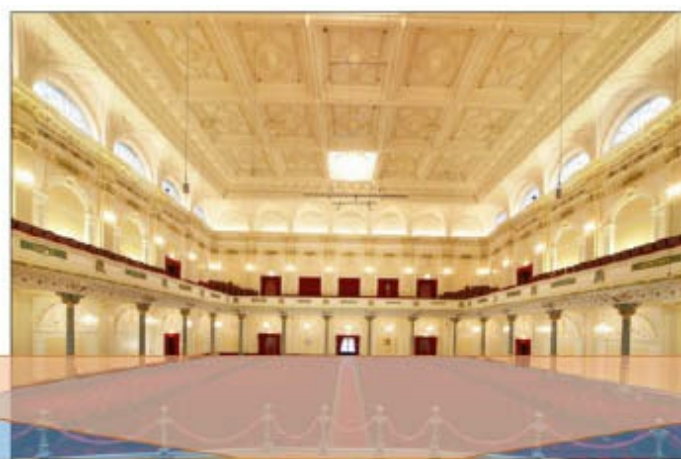


figura 7.129 comparação dos dois trapézios acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O que vemos é que os dois trapézios estão invertidos. Ou seja, para o fundo da plateia a pilha projeta energia num ângulo muito maior do que é preciso. Que seria como sugere o trapézio azul. Na região central da plateia a energia projetada é, com um pouco de boa vontade, próxima do que é preciso. Finalmente, nas primeiras filas da plateia a energia é projetada (trapézio laranja) com ângulo horizontal bem menor do que é preciso (trapézio azul).

Resultado? Vejamos na figura 7.130.

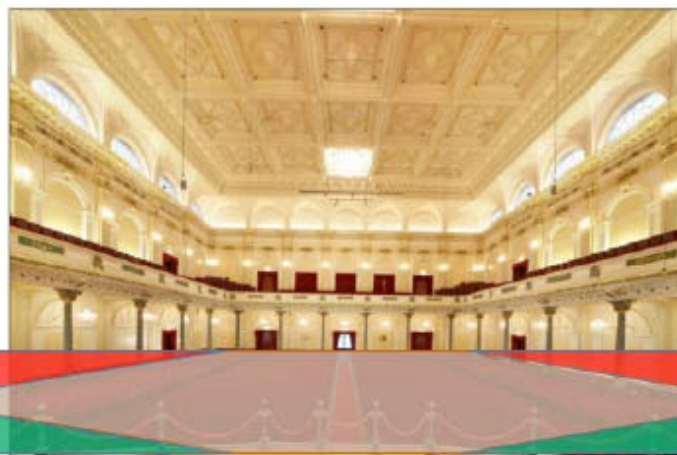


figura 7.130 triângulos vermelhos indicando excesso de cobertura e triângulos verdes mostrando áreas com cobertura deficiente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os triângulos em cor vermelha da figura 7.130 mostram áreas que vão receber energia quando não é preciso. Pior do que apenas não ser preciso, essa energia que não sai pelo ladrão produz reflexões detrimenais comprometendo a inteligibilidade e os índices de claridade musical.

Já os triângulos em cor verde mostram áreas que deveriam receber energia da pilha mas a receberão de forma muito precária, com grande predominância para o recebimento de campos reverberantes. Novamente, com problemas de reduzidos índices de inteligibilidade e de claridade musical.

O ideal seria que os dois trapézios fossem coincidentes e muito próximos dessa condição ideal. Mas a vida é dura e temos que lidar com essa realidade.

Acabamos de ver a essência dos problemas de cobertura. O Concertgebouw, que usei como exemplo, é, por assim dizer, mamão com açúcar. A maioria dos locais apresenta grau de dificuldade substancialmente mais complexo do que isso. Entretanto, a natureza do problema é a mesma.

Pense na figura 7.131 e você já tem aí uma boa pista no sentido de melhorar a performance das pilhas e dos clusters no que se refere à cobertura acústica de plateias.



figura 7.131 a cobertura ideal fatiada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A área a ser coberta ainda continua sendo indicada pelo trapézio azul. Só que agora ele foi – literalmente falando – fatiado.

As fatias estão indicadas no desenho e foram chamadas 1, 2, 3, 4, 5 e 6. A ideia é que a fatia 1 seja coberta pela caixa acústica superior da pilha, a fatia 2 pela caixa imediatamente abaixo dessa, a fatia 3

pela terceira caixa acústica de cima para baixo e assim sucessivamente. Até que a fatia 6 seja atendida pela caixa acústica inferior da pilha.

Vamos imaginar agora que tenhamos disponíveis caixas acústicas com diversas alternativas de ângulos de cobertura horizontal.

Se isso for verdade, podemos escolher uma caixa com cobertura horizontal bem reduzida para atender à fatia 1. Escolhemos outra com ângulo de cobertura horizontal pouco superior à anterior, para atender à fatia 2. Até que a última caixa acústica, a que fica em baixo de todas, tenha ângulo de cobertura horizontal relativamente amplo de forma a atender melhor a necessidade específica da fatia 6.

Se você for pesquisar o que os fabricantes oferecem de modelos da mesma família com diferentes ângulos de cobertura horizontal irá verificar que, com uma ou outra honrosa exceção, não há nada da linha do que acabamos de discutir, com a oferta de muitos ângulos diferentes. Ao contrário, os ângulos oferecidos são tipicamente o que já vem sendo oferecido há muitas décadas.

Numa palestra que proferi há alguns anos num dos eventos da SET – Sociedade de Engenharia de Televisão, abordei este assunto. Uma das pessoas presentes na plateia me perguntou como fazer para, num caso simples de voz, ajustar a angulação de cobertura horizontal para um caso típico de sala retangular. Dei uma resposta tripla a esse indivíduo.

Inicialmente, sugeri que ele procurasse conhecer os produtos da Altec da linha VI (Vari Intense Technology). Veja três cornetas assimétricas dessa família na figura 7.132.



figura 7.132 cornetas Altec da linha VI (Vari Intense Technology) não mais fabricadas atualmente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Observe a assimetria nas saídas dos guias de onda para as cornetas propriamente ditas. É essa característica física desses produtos que permite, dentro de certos limites, ajustar os trapézios para algumas necessidades mais comuns.

Na segunda parte da resposta informei ao espectador que em breve a Revista Áudio Música e Tecnologia iria publicar – o que realmente ocorreu – artigo de minha autoria detalhando como projetar e construir cornetas da classe “mantaray”. O que, por propriedades natas, é bastante fácil tanto de projetar quanto de construir para quaisquer coberturas angulares que se possa imaginar. Tanto horizontal quanto vertical.

Na terceira parte da resposta disse que o controle dos lóbulos espúrios poderia ajudar a conter o arremesso de energia onde ela não ajuda mas atrapalha e, simultaneamente, poderia assistir na obtenção de lóbulos onde eles são necessários e não se fazem presentes. Acrescentei que, com relação a esta última parte de gerar lóbulos não presentes nos arranjos convencionais, uma alternativa sempre possível é complementar os lóbulos principais com coberturas extras provenientes de side fills e de outros fills utilizados com intenções assemelhadas.

Evidentemente, quando falei sobre o controle dos lóbulos estava pensando no uso de filtros FIR assistidos a DSPs. Mas como naquela ocasião essa tecnologia era apenas um embrião e

uma eventual promessa para futura, não pretendi ir além de apenas mencionar aquilo como uma eventual possibilidade vindoura, um tanto ou quanto remota.

Atualmente há alguns fabricantes que se dedicaram a proporcionar coberturas acústicas mais precisas e com mais opções de coberturas. Um desses casos é a Bose, com sua linha de produtos PDA – Progressive Directivity Arrays.

Essa linha engloba três famílias, que são a fullrange, a full range assimétrica e a dos subwoofers. A família full range é constituída de caixas acústicas com muitas opções de coberturas. Tanto as horizontais quanto as verticais. Na família full range assimétrica as caixas acústicas possibilitam a mudança de posição dos transdutores, com o que se alternam as coberturas horizontais e verticais. Também aqui são muitas as opções. Já a família dos subwoofers oferece apenas duas caixas acústicas, ambas omnidirecionais abaixo de 100 Hz.

7.6.10 Conclusão

O uso dos sistemas line array não é mais uma tendência, mas uma realidade. Os motivos para essa febre justificada são muitos. O principal é uma marcante e global preferência global pelos resultados soberbos que os sistemas line arrays proporcionam. Algo nitidamente superior ao que é possível obter com os clusters formados por caixas acústicas convencionais.

Mas também é preciso ponderar que o grau de adequação dos sistemas line array aos mais variados espaços é uma questão que passa, acima de tudo, pela qualidade do dimensionamento eletroacústico e do projeto como um todo. Com sistemas convencionais, pequenos erros costumam ser suportáveis. Mas isso não é verdadeiro com os sistemas line array. De fato, com estes, um errinho de nada pode ter proporções catastróficas. O que recomenda cuidados muito especiais e uma abordagem rigorosamente profissional para cada um dos casos tratados.

Esse aspecto, e alguns outros relacionados com grau de dificuldade e com as muitas opções de sistemas line array, recomendam que todo e qualquer dimensionamento envolvendo sistema line array seja suportado pelo auxílio dos programas específicos disponibilizados pelos próprios fabricantes dos sistemas line arrays, além daqueles que auxiliam os projetistas, detalhadamente discutidos no capítulo 6.

Uma das boas opções de acesso aos sistemas line array para os noviciados é avaliar com espírito analítico as muitas figuras de pilhas e de montagens line array dos mais diversos locais abertos e fechados. Essas imagens estão disponíveis em catálogos de fabricantes, em documentos voltados para o assunto, numa verdadeira enxurrada de artigos publicados na imprensa especializada, além de uma miríade de figuras e de imagens facilmente encontradas na Internet.

7.7 PROCESSAMENTO FIR PARA LINE ARRAYS

Gostaria de começar este assunto lembrando que a definição mais clássica que se dá aos line arrays é que ao invés de produzir frentes de onda esféricas, como os falantes convencionais, eles produzem frentes de onda cilíndricas. Ou frentes de onda coerentes, termo que usei anteriormente.

Entretanto, antes que alguém diga que isso é impossível, permitam-me esclarecer.

O line array ideal seria o empilhamento com largura infinitamente reduzida e com altura infinitamente grande. Essa é a definição teórica de uma fonte em linha ideal. Portanto, algo que não pode ser obtido na prática. Esse seria o arranjo que, teoricamente, ao invés de produzir sons que se propagam esféricamente, se propagariam com expansões cilíndricas. Mas se esse é um caso teórico e ideal, que, portanto, não pode ser realizado na prática. Então, o que é possível obter?

É possível obter aproximações reais, factíveis e econômicas que embora não sejam exatamente o ideal, representam alternativas exequíveis que se avizinham da condição ideal. A próxima questão que se coloca é: e quanto essas aproximações ficam distantes do ideal?

7.7.1 Raios de Sol Você já ouvir falar do “efeito raios de sol”? Claro que não. Afinal, inventei o termo enquanto escrevia estas linhas por achar que ele descreve bem o que o nome sugere. O fenômeno é uma situação própria dos line arrays.

Senão, vejamos.

É sabido que por questões físicas as fontes de som vão se tornando mais direcionais à medida em que a frequência aumenta. Mera questão de comprimentos de onda. Veja a figura 7.133. Nos três mapas vemos as respostas de 10 woofers empilhados. No lado esquerdo a frequência é 100 Hz. No centro é 1,6 kHz e na direita é 4,0 kHz.

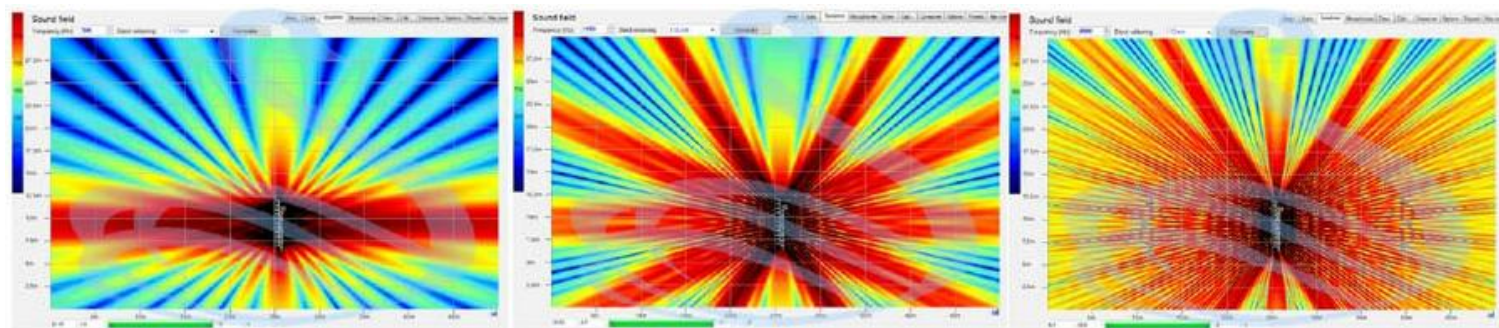


figura 7.133 raios de sol, 100 Hz à esquerda, 1,6 kHz ao centro e 4,0kHz à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
7.7.2 Lóbulos

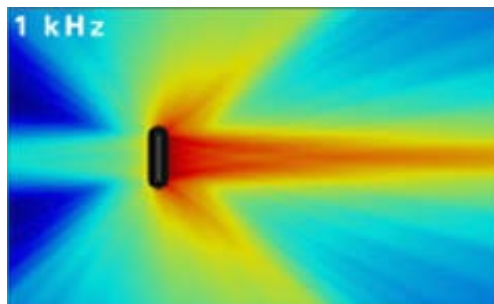


figura 7.134 lóbulos laterais e outros cortesias Meyer Sound A figura 7.134 ilustra outra característica típica dos line arrays.

Por mais que se procure controlar a diretividade e os ângulos de cobertura acústica, invariavelmente surgem lóbulos de cobertura indesejáveis em algumas frequências. Eles apontam para direções diferentes das desejadas.

Note que há dois lóbulos muito energéticos emergindo diretamente do canto superior e do canto inferior do empilhamento. São os chamados lóbulos laterais ou lóbulos gradiente.

Isso se deve ao fato de que os elementos do empilhamento ficam em fase em certos comprimentos de onda em alguns ângulos em relação ao eixo principal e em oposição de fase nesses mesmos comprimentos de onda mas em outros ângulos.

Essas ocorrências distintas se alternam à medida em que aumentam os ângulos fora do eixo. Além desses efeitos que resultam das interações de ondas acústicas, outro elemento gerador são difrações acústicas que ocorrem nos cantos vivos superiores e inferiores dos empilhamentos.

Uma análise superficial da figura 7.134 basta para deduzir que a resposta de frequência fica muito prejudicada por sobre toda a região coberta pelo line array. Naturalmente, essas irregularidades também provocam variações consideráveis no caráter tonal da reprodução à medida em que se desloca pela região atendida pelos line arrays.

Como se constata nas figuras 1 e 2, além dos lóbulos gradiente há lóbulos espúrios que ocorrem em direções aparentemente aleatórias em relação à direção do lóbulo frontal principal. Esses são lóbulos indesejáveis cujos efeitos são tão deletérios quanto os produzidos pelos lóbulos laterais.

7.7.3 Processamento O que fazer para tentar controlar esses pepinos? Antes de ensaiar a resposta devo dizer que há limites para esse controle. Além disso, as tentativas de controlar produzem efeitos colaterais de consequências práticas em graus variáveis.

Até aqui, um dos remédios mais utilizados para combater lóbulos gradiente e lóbulos espúrios foi a equalização. Afinal, não é nenhum segredo de Polichinelo que desde que os line arrays foram introduzidos no mercado os sinais entregues a eles sempre uma variada dose de processamento dinâmico de sinais.

Até porque, dependendo do caso e da gravidade dos problemas, esses transtornos podem

chegar ao patamar do inaceitável. Portanto, o processamento de sinais dos line arrays surgiu inicialmente como tentativa de correção de problemas que se faziam sentir de modo muito evidente.

É preciso lembrar que a equalização, por exemplo, sempre foi muito fácil porque os equalizadores fizeram e fazem parte integrante de praticamente todo e qualquer sistema de som, independentemente de seu porte ou aplicação.

O mesmo vale para os compressores que, podemos dizer, são como arroz de festa. Portanto, sempre houve a possibilidade de limitar a gama dinâmica e de controlar a máxima potência elétrica entregue aos falantes. Ou seja, estabelecer os parâmetros da limitação dinâmica.

Do mesmo modo, os crossovers eletrônicos sempre possibilitaram a escolha das frequências de transição, a opção pelos tipos de filtros utilizados, por sua ordem de atuação, além de ganhos individualmente ajustáveis por vias.

Vou tentar mostrar a você um dos motivos que sempre leva os profissionais a processar os sinais. A figura 7.135 é um gráfico que exhibe a curva de excursão do cone do falante JBL 2241H instalado numa caixa acústica dutada com volume de 280 litros, sintonizada em 30 Hz, com alimentação provida por amplificador de 1.200 watts.

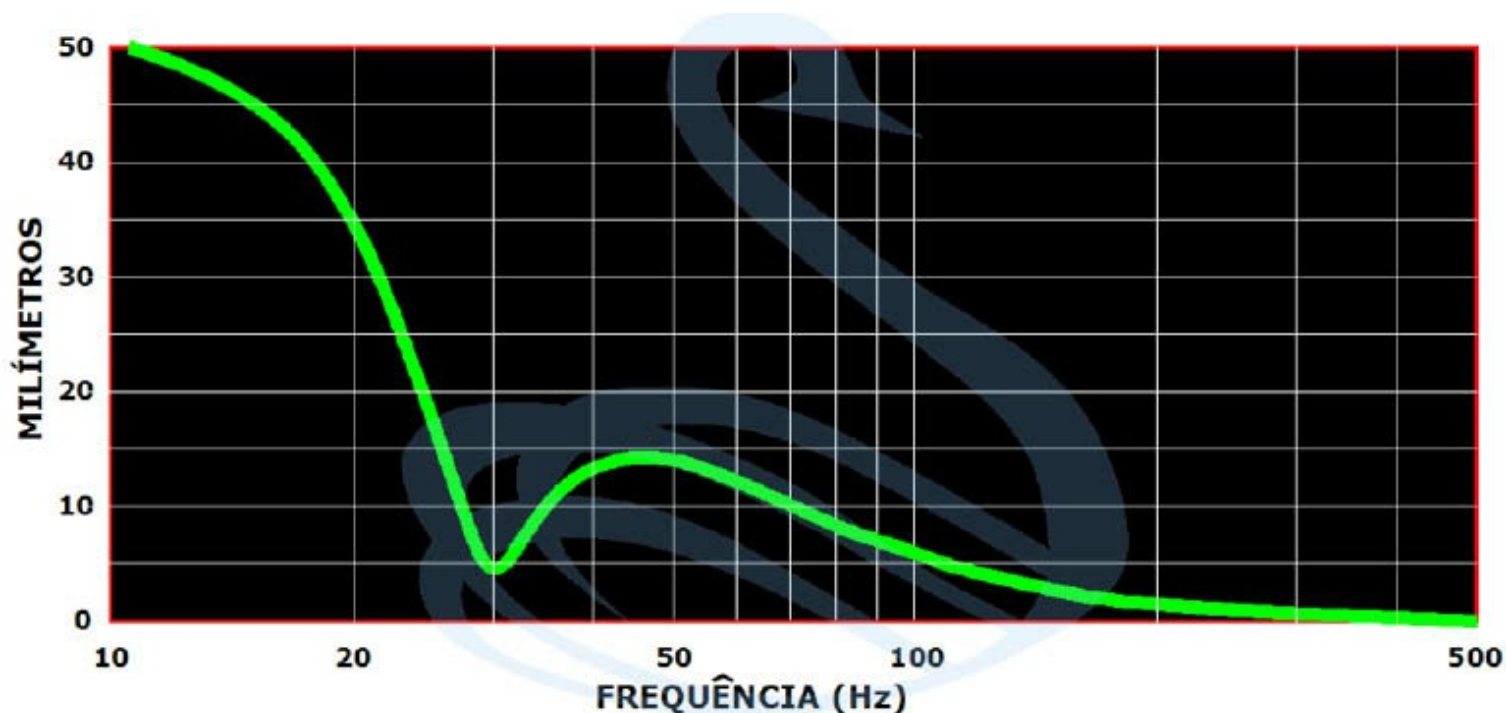


figura 7.135 excursão do cone do falante JBL 2241H energizado @ 1.200 watts acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como qualquer outro falante, esse também não pode ser levado a um deslocamento de cone além de sua capacidade nominal especificada, conhecida como X_{MAX} . Que no caso desse falante é 40mm, pico a pico. De modo a proteger o falante com bastante segurança, um filtro passa altas de 30Hz, 3ª ou 4ª ordem, é condição “sine qua non” para que o falante mantenha sua integridade de forma incondicional.

O que significa que é preciso inserir o processamento antes da amplificação, no caso, esse filtro de segurança.

7.7.3.1 Atraso de Grupo Creio que muitos de vocês sabem que a aplicação de qualquer forma de equalização convencional imposta aos line arrays sempre teve um efeito colateral, muitas vezes absolutamente indigesto. Estou me referindo ao atraso de grupo e ao desarranjo das fases envolvidas. O que empana a qualidade sônica, independentemente da qualidade dos falantes utilizados, dos cuidados havidos com os projetos das caixas acústicas e com o próprio esmero havido durante a etapa de projeto. Especialmente o que se refere à localização e direcionamento espacial dos line arrays. Tal efeito é tão mais perverso quanto mais se usa o equalizador.

Para quem não está familiarizado com o problema, vou tentar explicá-lo. Você está ouvindo um programa musical bem equilibrado. Lá estão os graves, os médios e os agudos. De um momento para outro as coisas mudam. Então, você ouve os graves agora, os médios que deveria ouvir agora só chegam daqui a um minuto e os agudos, que também deveriam ser ouvidos juntamente com os graves e com os médios, serão ouvidos daqui a dois minutos. O que você acha disso? Bem exagerado, não? Claro que sim. Mas essa figura inflada serve para dar uma ideia do que é o atraso de grupo, sendo que os tempos reais são da ordem de milissegundos. Trata-se de uma distorção de perto relacionada com o tempo. Quando o atraso de grupo é muito reduzido, praticamente não é percebido. Entretanto, quando os filtros são mais exigidos, essa forma de distorção aumenta muito e sua percepção torna-se evidente, assumindo uma característica sonicamente muito desagradável.

7.7.3.2 Fase Linear A única maneira de evitar esse problema é usando filtros de fase linear que, infelizmente não podem ser implementados com filtros analógicos nem com filtros IIR – Infinite Impulse Response.

7.7.4 Para Onde Vai a Energia Vimos antes que do ponto de vista de engenharia de áudio uma das premissas mais desejadas seria que a fonte de som, ou fontes de som, radiassem 100% de sua energia apenas sobre a área da plateia e 0% sobre quaisquer outras regiões. Que regiões são essas? As paredes laterais, a parede do fundo, o teto, a área de circulação perimétrica no entorno da plateia e tantas outras.

Vimos também que essa é outra daquelas condições ideais e hipotéticas, que não costumam ocorrer na realidade. Tanto é assim que, desde que os sistemas line array chegaram, verificou-se que, independentemente da geometria dada às pilhas, esses arranjos de falantes sempre lançam quantidade apreciável de energia em áreas que deveriam ser evitadas. A consequência imediata desse fato é a produção de uma multitude de reflexões que intensifica e exacerba o campo reverberante. Em função disso, o potencial de inteligibilidade e os índices de clareza

musical dos sistemas sempre fica aquém de seu real potencial em maior ou menor escala.

7.7.4.1 Soluções

Alguma solução para isso? Bem, a intuição já sinaliza em algumas direções. Uma delas é a possibilidade de poder mudar a direção do eixo principal de um sistema line array. Como ilustra a figura 7.136.

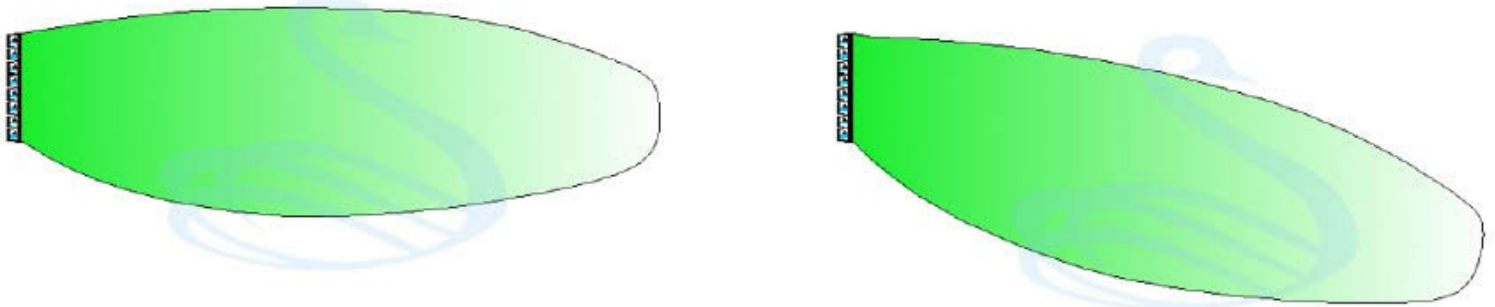


figura 7.136 mudança de direção do eixo principal de um sistema line array acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra possibilidade é modificar o padrão de dispersão do sistema line array, como sugere a figura 7.137.

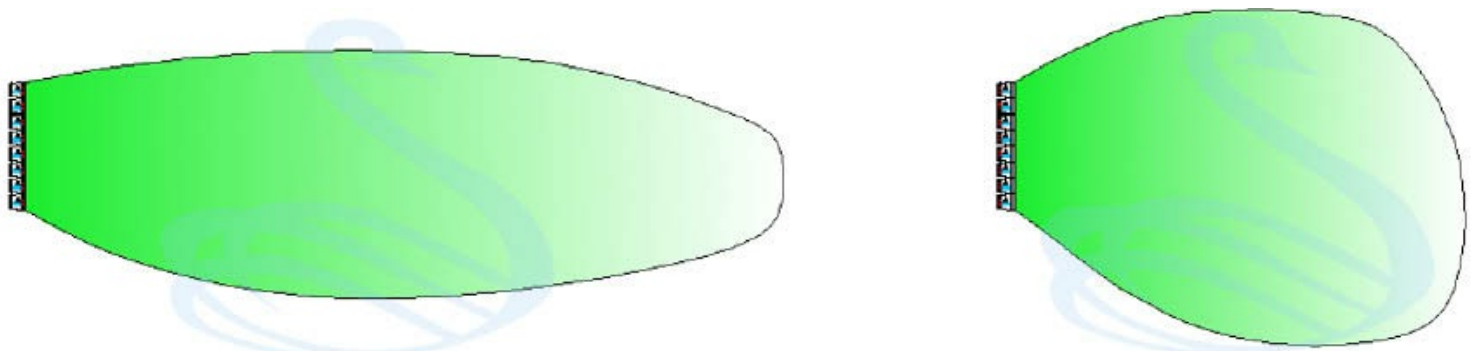


figura 7.137 modificação do padrão de dispersão de um sistema line array acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Também é possível pensar em dividir o lóbulo frontal principal em dois ou mais lóbulos, como sugere a figura 7.138.

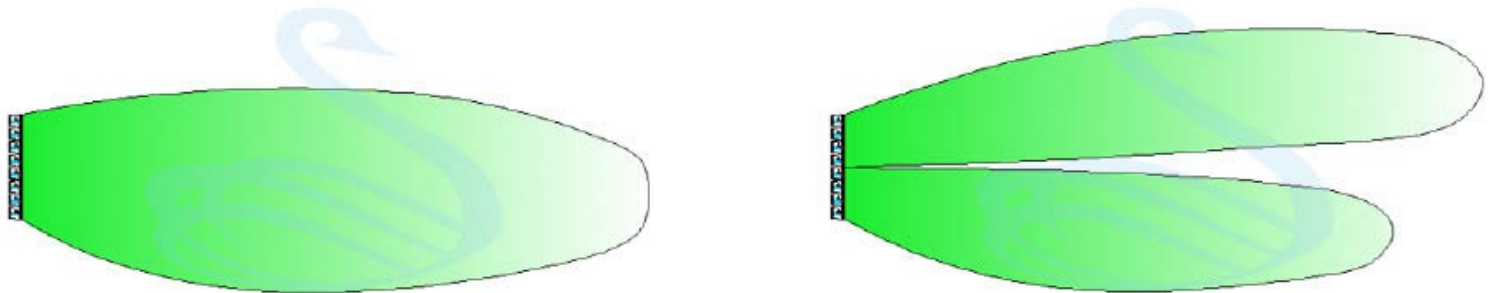


figura 7.138 divisão do lóbulo frontal em dois lóbulos secundários acervo do engº Luiz Fernando O.

Cysne A maneira clássica de lidar com os lóbulos, dividindo-os e formatando-os, é com o processamento individual dos sinais, mediante uso de atraso de sinais. Mas isso não pode ser feito se vários falantes da mesma pilha e com alturas diferentes são ligados em paralelo e alimentados pela mesma via de amplificação. O motivo é que tal arquitetura impede o processamento individual desses mesmos falantes. Portanto, o que chamei de maneira clássica de lidar com os lóbulos exige não seguir a maneira clássica de interligar eletricamente os falantes. O mais fácil nesses casos é utilizar elementos de line arrays ativos, com amplificação própria e onboard em cada via.

7.7.4.2 Empilhamentos Verticais e Curvos O tempo mostrou que os empilhamentos absolutamente verticais de line arrays acabavam produzindo padrões de cobertura que se

tornavam muito estreitos em aplicações práticas e reais. Simultaneamente, tornou-se óbvio que melhor seria poder contar com padrões polares de cobertura com formato assimétrico nos planos verticais, projetando mais energia para a frente e alguma energia para baixo. O que acabou conduzindo ao uso de pilhas anguladas em relação à vertical e, na maioria das vezes, com formato curvo ao invés de empilhamentos lineares. Entretanto, o benefício de curvar linhas retas não veio de graça. A contrapartida de pronto foi o agravamento do chamado “efeito raios solares”. Por sinal, algo que já era esperado.

Qual foi a saída para isso? Simples. Ao invés de curvar as pilhas com os tradicionais formatos R, C, S, J, M e outros, como ilustra a figura 7.109, usar seções diferentes sem curva. Como sugere a figura 7.139. As linhas inclinadas de cor verde representam os planos de audição das pessoas na plateia, tanto no balcão quanto abaixo dele.

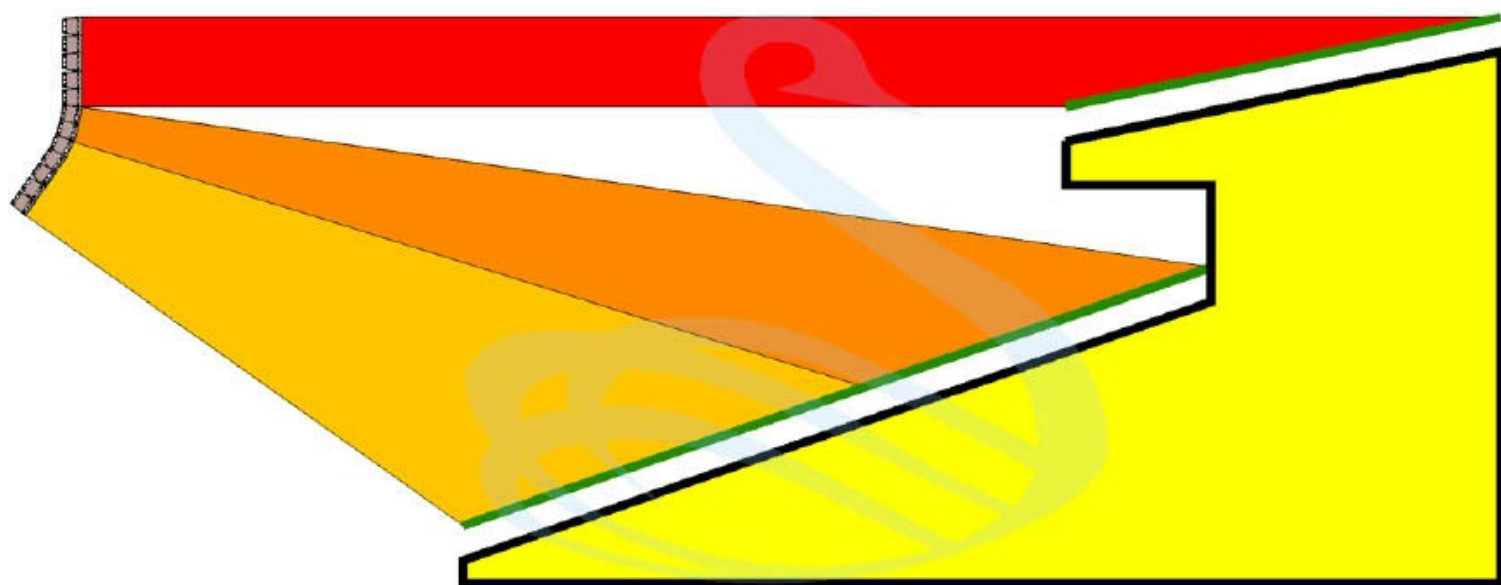


figura 7.139 seções diferentes de cobertura acústica com seções lineares diferentes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isso ajudou a reduzir um pouco o efeito raios de sol. Mas ainda não era uma solução que convencesse plenamente. De fato, a medida estava mais para o paliativo do que para a solução real. Com custo adicional nada desprezível.

Porque essa era apenas uma solução paliativa? Porque praticamente se pode controlar melhor um problema, mas às custas do agravamento de outros. De fato, com elementos de line array não curvos, qualquer indivíduo na plateia fica muito mais sujeito a recepção de ondas acústicas por vias múltiplas. Deixe-me explicar isso com o auxílio da figura 7.140.

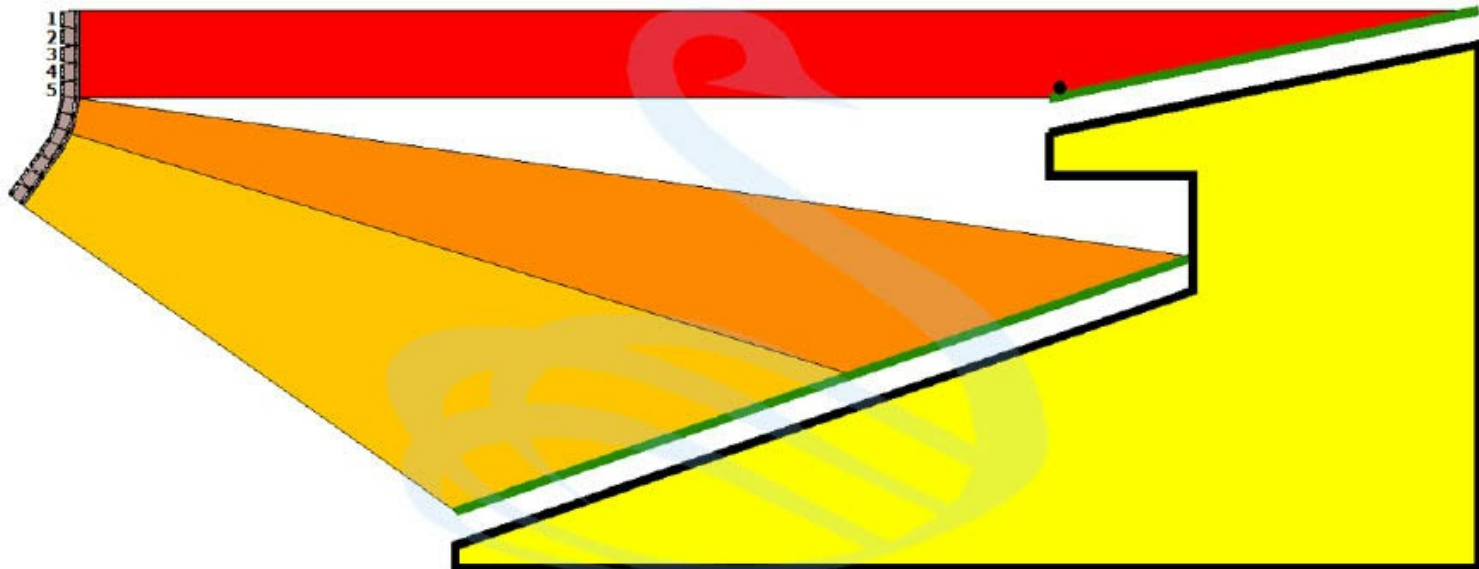


figura 7.140 local da plateia sujeito a recepção de ondas acústicas por vias múltiplas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Atenção para o pontinho preto sobre a linha de audição na plateia superior.

Quando o line array está operando, a pessoa com os ouvidos no local exato do pontinho preto ouve primeiro a onda acústica emitida pela caixa acústica #5. Algum tempo depois chega a onda acústica proveniente da caixa acústica #4. Em seguida vem a onda que deixou a caixa acústica #3. Depois vem a onda da caixa acústica #2 e, finalmente, ele ouve a onda que chegou da caixa acústica #1.

O ideal seria que ele ouvisse simultaneamente todas as caixas acústicas. Como isso não ocorre, nosso personagem ouve aproximadamente a mesma onda acústica em momentos diferentes. Esta é a recepção por vias múltiplas. E qual é o problema com isso?

Pense no som característico de uma caixa de bateria com esteira. A sonoridade é muito específica e o ataque é dos mais rápidos que se pode imaginar. Quando se ouve esse som num line array que nos entrega o mesmo som decomposto em parcelas, cada uma chegando num momento diferente, perde-se totalmente o efeito do ataque e o timbre fica alterado de modo muito perceptível. A impressão sônica é que o ataque foi suprimido por meios eletrônicos e os transientes ficaram aprisionados nos recônditos do line array.

Alguns técnicos julgam que os problemas inerentes às formas curvas são mais amenos do que aqueles que resultam de formações retilíneas. Outros julgam o contrário. Até porque essas experiências dependem muito de marcas e modelos das caixas acústicas utilizadas, de como elas são montadas, da geometria dada aos line arrays, da localização espacial do arranjo, do direcionamento dos line arrays, das distâncias entre as caixas acústicas e as pessoas na plateia, das características acústicas dos espaços, dos alinhamentos mecânicos e elétricos dos sistemas e dos respectivos detalhes envolvidos, e assim por diante. Ou seja, é praticamente impossível comparar duas situações equivalentes. Até porque se imaginarmos duas instalações distintas, cada qual com o seu próprio conjunto de todos os parâmetros citados, fica fácil entender que as diferenças múltiplas praticamente se incumbem de eliminar quaisquer traços de equivalência. O que é indispensável para efeito de comparações reais.

O fato é que pilhas curvas e não curvas ainda apresentavam alguns problemas sem soluções reais e efetivas.

7.7.5 Novos Recursos Tal conjuntura levou fabricantes, cientistas e pesquisadores a investir tempo e muitos esforços na busca por fórmulas que possibilitassem amenizar ou resolver os problemas existentes e, em especial, exercer melhor controle dos ângulos de cobertura e de possíveis maneiras capazes de permitir a formatação geométrica espacial dos padrões polares de cobertura acústica dos line arrays. Esses esforços renderam frutos já que alguns passos importantes foram dados nessa direção.

7.7.5.1 Guias de Onda Provavelmente o mais relevante deles tenha sido o desenvolvimento dos guias de onda acústica para substituir os falantes convencionais de radiação frontal. Com efeito, a introdução dos guias de onda permitiu alterar o comportamento original dos sistemas line array das primeiras gerações, que era o de empilhamento simples de fontes de som individuais, todas dependentes de frequência, por novos sistemas que passaram a responder muito mais como fontes colunares contínuas.

Sua introdução trouxe resultados imediatos na forma de melhoras substanciais na linearidade das respostas, principalmente nas frequências mais elevadas.

Assim como os guias de onda, pouco a pouco novas contribuições foram sendo incorporadas na linha do tempo do desenvolvimento tecnológico dos empilhamentos line array de todos os tipos.

7.7.6 Filtros FIR

Quando escrevi o texto original da Bíblia do Som falei e mostrei como funcionavam os filtros FIR – Finite Impulse Response. Até desenhos e esquemáticos correspondentes foram publicados. Amigos, estou falando de 15 anos atrás! Até pouco tempo esses filtros simplesmente não eram operacionais e tampouco de aplicação viável nos sistemas line array. Razões pelas quais não podiam ser implementados de forma econômica.

Mas o tempo passou. Resultados de estudos, de análises e outros esforços se constituíram na engrenagem que permitiu alavancar o nível dos filtros FIR para um novo e auspicioso patamar. O patamar do possível. Em outras palavras, graças a muito trabalho árduo, sinergia e doses cavalares de perseverança os filtros FIR tornaram-se ferramentas possíveis e reais para uso nos line arrays.

Se vocês querem minha opinião sobre isso, penso que realmente estamos diante de um daqueles marcos que mudará radicalmente a história do áudio profissional no planeta. De uma forma jamais vista ou imaginada nas últimas décadas, com a honrosa exceção do boom digital em substituição ao domínio analógico.

Muitos técnicos experientes e engenheiros de som com quem tenho falado discordam de

mim. Porque? Penso que eles ainda não puderam dedicar um tempinho para pensar nas consequências aparentemente sóbrias da introdução dos filtros FIR. Quase me atrevo a lhes assegurar que esse fato será melhor e mais amplamente entendido em breve e, aí sim, suas consequências serão avaliadas com mais profundidade. De minha parte, entendo que devo usar algumas linhas ou páginas para procurar explicar o que está por trás do que penso ser a revolução das revoluções no áudio.

Bem, posso lhes dizer que os filtros FIR são a bola da vez. Definitivamente, eles entraram na moda. Pelo andar da carruagem, vai demorar um bocado para esse quadro mudar radicalmente.

Muitos me pedem para dar uma definição simples e objetiva do que é um filtro FIR. Um filtro FIR – Finite Impulse Response, é um tipo de filtro digital no qual cada amostra de saída do filtro é uma soma ponderada da amostra de entrada presente e de amostras de entrada já passadas, mas em quantidade finita, as quais foram propositadamente atrasadas.

Penso que lendo essas linhas muita gente começa a indagar qual são as propriedades mágicas dos filtros FIR. Não diria que estamos diante de magia negra nem de algo com propriedades inebriantes. Julgue por você mesmo lendo as linhas que seguem.

7.7.6.1 A Grande Vantagem da Fase Linear Uma das principais vantagens dos filtros FIR sobre quaisquer filtros analógicos e sobre os filtros IIR (Infinite Impulse Response) é que eles – os filtros FIR – podem garantir a obtenção de características de fase linear. Veja o que é fase linear com o exemplo da figura 7.141.

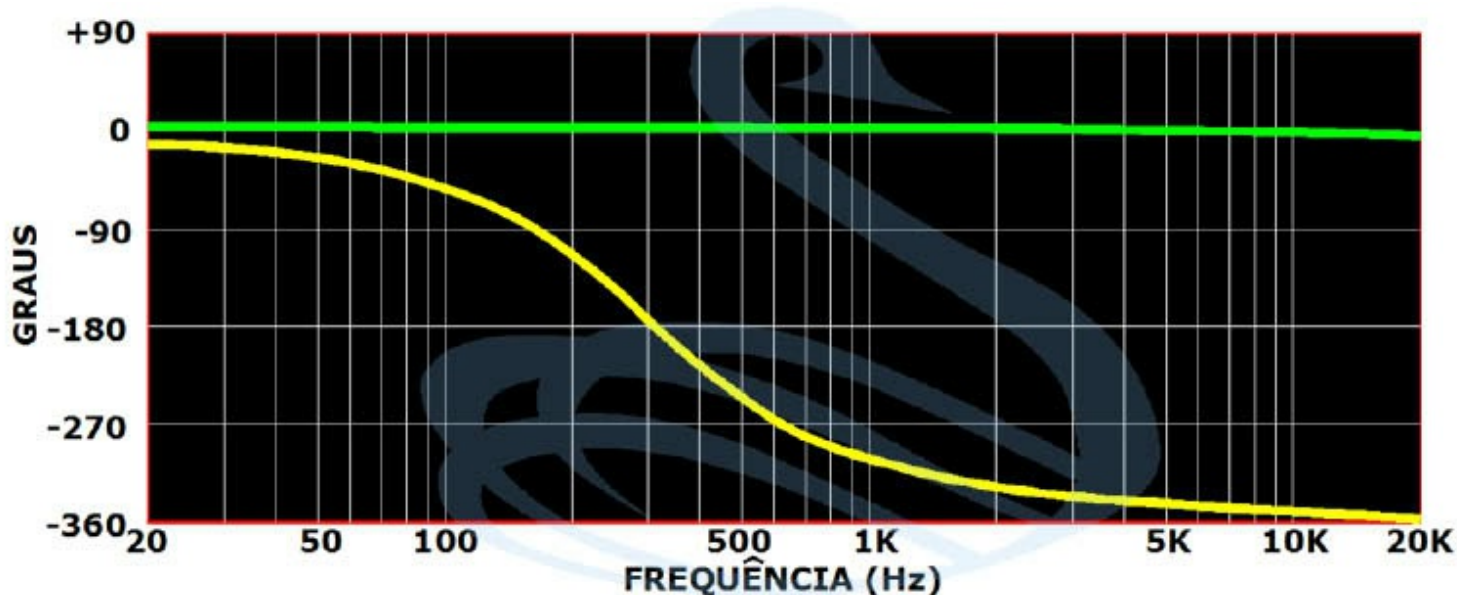


figura 7.141 fase linear de Filtro FIR em verde e fase com rotação de 360° de filtro convencional
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As duas curvas dessa figura são de dois crossovers eletrônicos de duas vias. A via passa baixas e a via passa altas, com frequência de transição em 300 Hz. As duas curvas mostram as respostas de fase dos filtros empregados. A curva amarela é a do crossover que emprega filtros Linkwitz-Riley de 4ª ordem, 24 dB/oitava. Como se percebe, a fase varia aproximadamente 360 graus das baixas para as altas frequências. A curva verde é a do mesmo crossover, porém implementado com filtros digitais FIR. Note que a resposta de fase pouco varia em

torno do zero graus por todo o espectro considerado.

Sei que mesmo vendo a figura e atribuindo uma característica aos filtros convencionais e outra aos filtros FIR, fica muito difícil avaliar o que representam essas coisas em termos de resultados sônicos.

Lembre-se, então, daquela figura exagerada que usei com propósito de evidenciar o efeito do atraso de grupo, com os graves chegando agora, os médios em mais um minuto e os agudos em mais dois minutos.

Esses desarranjos de fase inicialmente são pouco ou nada perceptíveis mas, a partir de um certo patamar, são facilmente notados por sua propriedade de degradar os resultados sônicos de forma arrasadora.

Portanto, o uso dos filtros FIR mantém a integridade dos sinais e sua qualidade no que se refere ao atraso de grupo e desarranjos de fase.

7.7.6.2 Filtros Brickwall ou Praticamente Quaisquer Rampas Desejadas Outra grande vantagem é que os filtros FIR permitem construir filtros muito íngremes, como os filtros brickwall, ilustrados na figura 7.142.



figura 7.142 filtros com várias rampas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os filtros de 1ª ordem têm rampa de 6,0 dB/oitava. Os de 2ª ordem de 12,0 dB/oitava, os de 3ª ordem de 18,0 dB/oitava e assim sucessivamente. Para que se tenha ideia, os filtros FIR podem ser facilmente implementados, apenas para citar um exemplo, com ordem 99ª. Ao que corresponde uma rampa de 594,0 dB/oitava. Se essa rampa fosse inserida no desenho da figura 7.142 ela praticamente coincidiria com a reta vertical do retângulo que define a “Resposta Brickwall”, que passa pela frequência normalizada “1”. Portanto, para todos os efeitos práticos um filtro assim pode ser considerado brickwall.

O melhor é que se consegue tudo isso sem gerar atrasos de grupo dependentes de frequência. Isto é, os atrasos são iguais para todo o espectro de trabalho o filtro. Ou seja, aí está fase linear.

Uma das dificuldades com que se tem lidado com os filtros FIR atuando como crossovers com rampas muito íngremes é o efeito colateral que se paga, na forma de aumento da latência do processo.

Vale dizer que não é razoável pensar em filtros IIR com rampas muito íngremes porquê as respostas de fase se mostram sonicamente insuportáveis.

7.7.6.3 Independência de Magnitude e Fase Desse fato deriva uma outra vantagem, por sinal extraordinária, que é os filtros FIR possibilitarem respostas de magnitude e de fase podem que podem ser ajustadas de forma totalmente interdependente uma da outra. Friso que isso não é possível com filtros analógicos nem com filtros IIR, nos quais a resposta de magnitude e a resposta de fase são dependentes e não podem ser separadas.

7.7.6.4 Resposta de Impulso Considera-se uma vantagem que, por definição, uma Resposta de Impulso é um filtro FIR. Isto porque a Resposta de Impulso tem comprimento fixo e, teoricamente, não pode durar infinitamente. Logo, qualquer Resposta de Impulso que você meça, por exemplo, usando o Smaart ou qualquer outra ferramenta similar, potencialmente pode ser usada como um filtro.

A Resposta de Impulso é obtida na saída quando o sinal de entrada é do tipo $i = [1, 0, 0, 0, 0, \dots]$. Podemos dizer que essa saída, que é uma Resposta de Impulso do filtro FIR, é o conjunto de coeficientes FIR.

Já os filtros IIR trabalham com realimentação de sinais. Ou seja, os sinais de saída são permanentemente injetados de volta para a entrada. O que esse comportamento denominado “recursivo” significa? Que a Resposta de Impulso dos filtros IIR jamais termina, pois nunca chega a atingir o zero autêntico. Claro que isso é teoria pura. Na prática, quando a parcela do sinal realimentado acaba sendo mascarada pelo nível de ruído ambiente a Resposta de Impulso pode ser dada por concluída.

Com os atuais medidores FFT de dois canais é tarefa das mais simples produzir uma Resposta de Impulso. A qual pode ser rapidamente processada (FFT) e transformada para o domínio da frequência e apresentada como uma curva de magnitude/fase.

Portanto, podemos dizer que Respostas de Impulso de salas em geral e mesmo de falantes, são filtros FIR. O motivo é que nesses casos o Impulso sempre termina num tempo finito na marca zero.

7.7.6.5 Flexibilidade Há uma particularidade dos filtros FIR que, quando menciono em meus cursos de áudio profissional, provoca grande frisson. É que um só filtro FIR substitui com enormes vantagens bancos e mais bancos de filtros de equalizadores paramétricos. O que significa que os filtros FIR possibilitam fazer correções de equalização com riqueza de detalhes.

7.7.6.6 Correção de “Defeitos”

Uma das coisas que se pode fazer com os filtros FIR é usar em sua entrada uma curva que seja o conjugado da resposta de frequência medida em qualquer ponto da sala. Veja a figura 7.143.

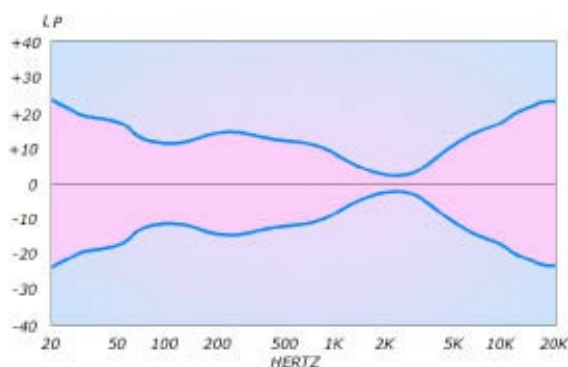


figura 7.143 resposta acústica medida e seu conjugado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A curva inferior foi medida num ponto X localizado a aproximadamente 20,0 metros da fonte sonora instalada no recinto. A curva superior é a curva espelho, ou conjugado, da curva inferior. Portanto, se alimentarmos a entrada do filtro FIR com a curva superior, a resposta de frequência do sinal acústico levantada no ponto X será uma reta horizontal passando pelo ponto 0.

Certo. Mas você vai dizer, ora isso também é possível com um equalizador gráfico de 1/3 de oitavas ou mesmo com um equalizador paramétrico. Perfeito. Você tem toda a razão ao dizer isso. Mas não esqueça que a diferença entre as duas maneiras de se chegar lá é que com os filtros FIR a fase é linear. Já com os filtros dos equalizadores citados, ou quaisquer outros que não os FIR, a resposta de fase degrada o sinal de tal maneira que sua audição pode ser, dependendo do caso, um autêntico desastre. Geralmente é.

Além da fase linear, no caso dos filtros FIR é possível medir as respostas de frequência individuais, em cada uma das fatias, como elas aparecem na figura 7.131. Então, cada DSP pode ser alimentado com uma curva que é uma fórmula híbrida formada por “sua própria curva” e pelas curvas levantadas nas fatias vizinhas. Isso significa que, assim como a cobertura pode ser escalonada, a equalização também pode receber essa mesma chancela. Isso detona o ponto que a equalização deixa um único ponto legal mas estraga todos os demais. Isso até chegaria perto da verdade se não fosse a questão das fases. Então, chega perto da verdade para os filtros FIR. Quanto a estragar todos os demais, a solução está no escalonamento da equalização. E a verdade é que com os filtros FIR os resultados práticos são anos luz à frente do que se obtém com filtros convencionais, digitais ou analógicos, ou do que se obtém quando

não se usa nenhuma equalização.

Sempre disse em meus cursos de acústica e de áudio profissional, além de palestras, que problemas acústicos não são resolvidos com eletrônica, mas com acústica. Contudo, com o muito bem vindo advento dos filtros FIR já mudei minha opinião. Sem filtros FIR manteria aquela opinião. Mas agora a estória é outra.

Estamos falando de filtros FIR utilizados para a correção de problemas de acústica, como sempre se tentou fazer com filtros convencionais, na esmagadora maioria das vezes sem sequer traços de sucesso. Muitas vezes produzindo resultados sônicos sofríveis.

Com os filtros FIR os objetivos, agora pé no chão, podem ser alinhados: 1 – tornar as respostas de frequência na audiência mais planas sem sacrificar nada das respostas de fase 2 – corrigir “defeitos” audíveis como os produzidos por reflexões havidas em superfícies muito próximas das fontes de som 3 – aperfeiçoar as respostas das pilhas line array uma vez que haja processamento individual de cada caixa acústica da pilha, de forma a abrir as portas para o direcionamento dos lóbulos principais de cobertura frontal e seu modelamento A importância disso tudo é que, ao contrário de muito pouco tempo atrás, agora é possível realizar em tempo real. Em síntese, essa é a grande alteração que o desenvolvimento tecnológico proporcionou.

Falando em tempo real, me ocorreu uma aplicação que considero bem interessante. Trata-se da correção em tempo real dos ecos (não confundir com reflexões, nem com muitas reflexões) presentes em várias salas de utilizadas para tele e para videoconferência.

Para mim, a vantagem dos Filtros FIR que chamo de cereja do bolo entre esse elenco de vantagens é sua capacidade nata de operar como filtros de convolução.

7.7.6.7 A Cereja do Bolo Para mim, a vantagem dos Filtros FIR que chamo de cereja do bolo entre esse elenco de vantagens é sua capacidade nata de operar como filtros de convolução.

Como a adição ou a subtração, a convolução é uma simples operação matemática formal que combina duas funções para produzir uma terceira função, que é basicamente uma versão modificada de uma das funções originais. Mediante emprego da estratégia de fracionamento de impulso, os sistemas podem ser descritos por um particular sinal denominado Resposta de Impulso, o que discutimos anteriormente.

A convolução é uma das técnicas mais importantes utilizadas no processamento moderno dos sinais de áudio e nos DSPs. A razão dessa importância deve-se ao fato de três sinais ficarem inter-relacionados entre si: o sinal de entrada, o sinal de saída e a resposta de impulso. Devo acrescentar que a convolução é um dos pilares sobre os quais se apoia toda a ação dos DSPs, especialmente na implementação dos filtros FIR para processamento de sinais.

Em meus cursos de áudio profissional gosto de resumir a maneira como um sistema de

convolução transforma um sinal de entrada num sinal de saída.

Num primeiro passo o sinal de entrada é decomposto numa série de impulsos, cada um deles sendo uma versão condensada e ligeiramente atrasada da função Delta (impulso unitário).

No segundo passo, cada saída que resulta de um único impulso de entrada é uma versão condensada e ligeiramente atrasada da resposta de impulso.

O terceiro e último passo é a obtenção do sinal na saída que resulta da soma de todas as versões citadas no parágrafo anterior.

Isso posto podemos dizer que se conhecermos a Resposta de Impulso de um sistema, então podemos calcular que saída teremos para cada possível sinal de entrada. Colocando de outro modo: sabemos tudo sobre o sistema. Muitas vezes, quando tratamos de filtros, o termo Resposta de Impulso pode ser intercambiado com Kernel do Filtro, ou com Kernel da Convolução ou apenas com Kernel.

Permitam-me usar um parágrafo para falar da notação usada quando o tema é convolução. A figura 7.142 ilustra a convolução empregada em DSP.

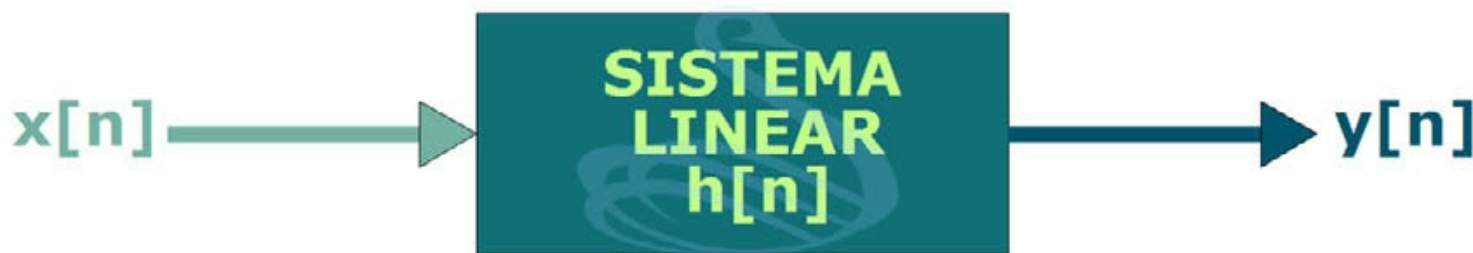


figura 7.144 convolução empregada no filtro FIR

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O sinal de entrada $x[n]$ entra no sistema linear cuja Resposta de Impulso é $h[n]$ para produzir um sinal de saída $y[n]$. Isso pode ser expresso na forma de uma equação matemática, que é

$$x[n] * h[n] = y[n]$$

Podemos ler essa equação dizendo: o sinal de entrada $x[n]$ convolvido com a resposta de impulso $h[n]$ é o sinal de saída $y[n]$. Assim como “+” representa adição e “-” representa subtração, “*” representa convolução.

A Transformada Rápida de Fourier (FFT), que também já discutimos anteriormente, converte a operação matemática da Convolução numa simples multiplicação. Essa é a razão pela qual a análise de espectro é tão empregada em medições de áudio profissional. O espectro da saída de um sistema é apenas o espectro de entrada multiplicado pela Resposta de Frequência do mesmo sistema. A grande vantagem disso tudo é que a Transformada de Fourier é de implementação muito simples com analisadores FFT, hoje muito comuns.

Neste ponto quero voltar aos filtros de convolução. Eles podem ser facilmente empregados para combinar arquivos de som com as informações da acústica de um determinado espaço

considerado com a finalidade de, por exemplo, clonar os efeitos das reverberações de qualquer sala de concertos do mundo, ou do ginásio que você quer sonorizar.

A convolução é uma conta reversível. Com efeito, ela pode ser revertida no processo denominado deconvolução. Outro conceito amplamente utilizado no processamento de sinais, além de muitas outras aplicações.

Muito bem. Agora que temos uma noção básica dos DSPs, dos filtros FIR e do que é convolução, podemos prosseguir.

Muito foi feito no campo dos line arrays, especialmente no que se refere à sua formatação e processamento eletrônico. O que tem permitido concentrar melhor a energia nas áreas das plateias e a evitar reflexões detrimenais refletidas em superfícies diversas.

7.7.7 Ferramentas do Projetista O projetista de eletroacústica conta com um verdadeiro arsenal de recursos para lidar com o dimensionamento eletroacústico de praticamente quaisquer ambientes ou fechados que se possa imaginar.

O primeiro bastião na linha do dimensionamento é lançar mão de um engenho de pré simulação. Entre esses há os proprietários, como o LAC II da JBL/Harman e o LAPS II da ElectroVoice, ambos ilustrados na figura 7.145. Também há os genéricos como o EASE Focus, oferecido por praticamente todos os fabricantes de caixas acústicas, usualmente ajustado para os respectivos produtos.

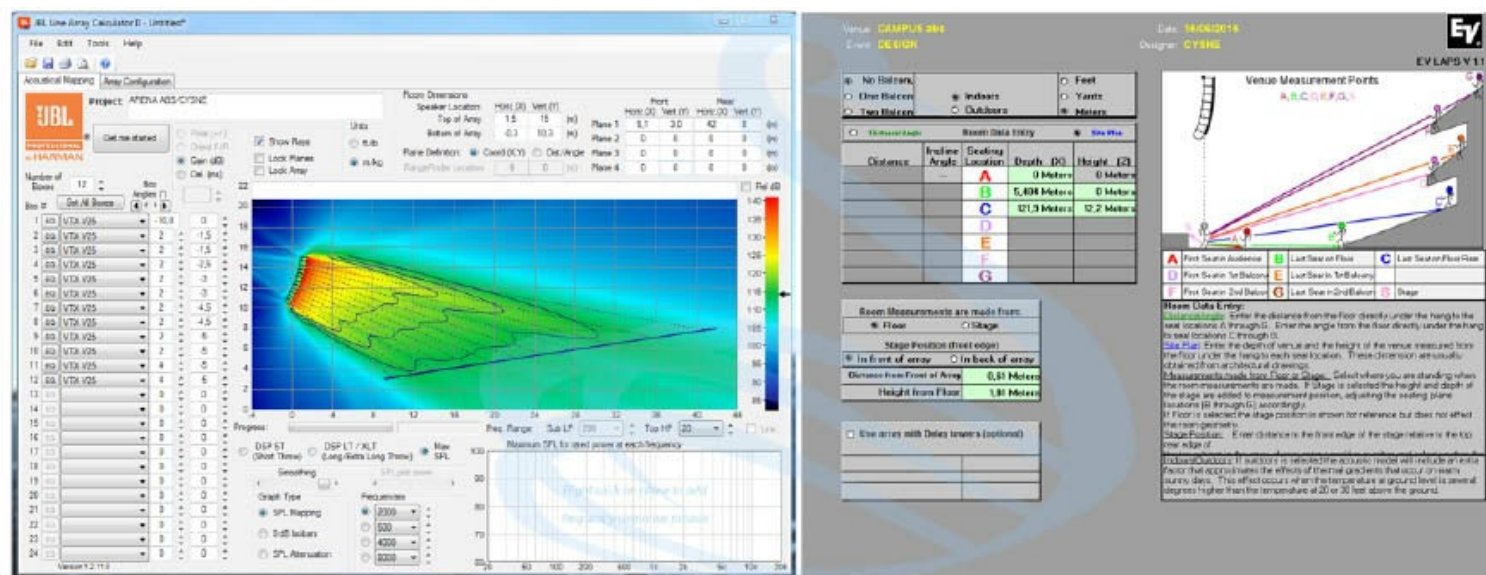


figura 7.145 JBL LAC II à esquerda e ElectroVoice LAPS II à direita acervo do engº Luiz Fernando O.

Cysne Dessa maneira o projetista ontem uma primeira noção de quantos elementos sua pilha line array precisa ter e que ângulos cada elemento deve fazer para que o resultado preliminar sobre toda a área da plateia seja minimamente aceitável. As duas ferramentas ilustradas nesta figura são específicas e fechadas, já que só podem ser empregadas com os produtos da JBL e da EV, respectivamente. Por outro lado, praticamente todos os fabricantes de caixas acústicas oferecem suas próprias versões do EASY Focus, que possibilita fazer trabalho semelhante ao proporcionado pelo LAC II e pelo LAPS II.

Muitos projetistas concluem sua etapa de simulação nesse ponto. Para sistemas mais simples a instalar em locais menores e acusticamente favoráveis provavelmente isso é

suficiente. Para casos mais complexos e locais acusticamente mais comprometedores é recomendável dar outros passos a caminho da simulação.

O EASE da AFMG tem sido cada vez mais usado e é a sequência natural para as pré simulações feitas com o LAC II, com o LAPS II ou com o EASE Focus. Com ele, o local é totalmente modelado em ambiente virtual, incluindo o condicionamento acústico interno. O que possibilita fazer as necessárias correções ou informa que a acústica pode comprometer os resultados, em casos de não se corrigir os problemas acústicos reportados.

Próxima etapa é a simulação eletroacústica, que começa com a inserção de dados dos falantes. Suas posições no ambiente modelado, seus direcionamentos espaciais, *etc.* O EASE possui uma base de dados que abrange praticamente todos os falantes de todos os fabricantes, incluindo os brasileiros. Os dados inseridos nesta etapa são aqueles obtidos na pré simulação.

A etapa seguinte com o EASE é dar início às simulações eletroacústicas. Até o momento em que estava escrevendo estas linhas as simulações do EASE ainda não incluíam o processamento de sinais abrangendo filtragem FIR e outros artifícios mais modernos.

Por outro lado, as simulações possíveis varrem uma enorme gama de possibilidades, com alternativas para exame com resolução de oitavas ou de terço de oitavas, além de recursos para ajustes finos do direcionamento dos falantes.

Por isso mesmo essas simulações mais detalhadas são, em essência, um processo de ajustes sucessivos de parâmetros, cuja direção e profundidade é determinada pelos resultados obtidos a cada mudança. Ou seja, os detalhes do sistema vão sendo ajustados pouco a pouco, à luz da progressão orientada pelos resultados obtidos a cada tentativa. Por exemplo, se a inteligibilidade é considerada insuficiente, há algumas providências que podem ser tomadas visando melhorar as marcas obtidas. A exemplo de aumentar a diretividade dos falantes. Ou de reposicioná-los com o intuito de reduzir a distância D_2 .

E assim vai se prosseguindo até que todas as simulações possíveis mostrem que as especificações de performance foram atendidas ou, alternativamente, que não podem ser atendidas e em que grau de aproximação se chegou.

Por usar o EASE desde que ele foi inicialmente comercializado pela Philips Eindhoven, ainda em sua primeira versão, posso lhes garantir que a correlação entre a realidade que se obtém e os resultados antecipados pelo programa é invariavelmente muito elevada. A contrapartida para fazer um trabalho sério e consistente com o EASE é o consumo de tempo que, pessoalmente, considero muito elevado.

Ainda assim, com a certeza de o esforço é sempre amplamente compensado. Esse tempo elevado resulta diretamente do fato de que as simulações sucessivas precisam ser repetidas muitas vezes, a cada passo dado.

Ora, essas repetições seguidas aventam a possibilidade de que sejam executadas de maneira automatizada e muito mais rápida.

Então parece um caminho muito inteligente pretender automatizar funções manuais repetitivas múltiplas mediante uso de software baseado na ação de filtros FIR implementados e ajustados pelo próprio software. Sobretudo levando em conta que a tendência atual é de todos os line arrays e colunas de lóbulos dirigíveis, bem como demais falantes, contarem com amplificadores classe D (PWM) individuais precedidos por processadores DSPs de elevada capacidade computacional, além de interfaces onboard para ASE com finalidade de comunicação de áudio, de controle e de monitoramento.

Essa comunicação e recursos de controle possibilitam que todos os ajustes e resultados da automação sejam transferidos diretamente para cada DSP do sistema, de tantos falantes quantos possa haver num dado complexo. Essas exportações e confirmações de retorno são feitas através de cabos de rede em poucos segundos.

Temos acompanhado com grande interesse o uso mais recente de DSPs com novos conceitos e aperfeiçoamentos, e que isso tem possibilitado aprimorar mais e mais as marcas de qualidade e de desempenho obtidas até recentemente. Especialmente no que tange à uniformidade do campo sonoro.

7.7.8 Otimização Numérica Chama-se otimização numérica à automação de funções que ocorre em consonância com algoritmos do software principal. O ponto de partida dos algoritmos são os dados físicos e geométricos do espaço além de informações completas dos falantes. Os resultados produzidos pelo software são comparados com as especificações de performance estabelecidas pelo engenheiro. Então, todo o processo de aproximação sucessiva é feito via software até que os resultados, obtidos com a introdução de filtros FIR e respectivas configurações, sejam compatíveis com aqueles estabelecidos como objetivo. Esse é o resultado já otimizado pelo software.

Muitas vezes o software vai encontrar situações conflitantes, tal como ocorre nos processamentos manuais. Quando isso ocorre, a maneira mais simples é através da interação do engenheiro no processo automático, onde ele pode definir prioridades. Até aqui nenhuma novidade, pois é precisamente isso o que ocorre nos processamentos manuais.

Dessa maneira, o processo automático também repete funções, aperfeiçoando os resultados a cada repetição. As diferenças reais entre os processos automático e manual é, inicialmente, o tempo de processamento. Mais importante do que isso, entretanto, é que o resultado otimizado não pode ser obtido por meios convencionais.

O resultado otimizado é um conjunto de muitas configurações diferentes, cada qual

destinada a um DSP do sistema. A combinação de todas essas configurações é que produz os resultados sônicos definidos pelo engenheiro nas especificações de performance.

Só para constar, as especificações de performance incluem o grau de inteligibilidade mínimo que o sistema deve proporcionar em quaisquer locais considerados da plateia, níveis máximos de pressão sonora pela região da plateia e homogeneidade da respectiva cobertura, resposta de frequência mínima em quaisquer locais considerados da plateia, áreas que não se deseja nenhuma cobertura acústica, além de dados de acústica. Para mais detalhes sobre as especificações de performance favor consultar o capítulo 6.

As muitas configurações embutidas no resultado otimizado através de filtros FIR incluem essencialmente ganhos, atrasos, filtragens de frequências sem alterações de fase, parâmetros de crossovers, compressões e limitações protetivas, entre outros.

Convém mencionar que os tempos de configuração muito reduzidos podem ser traduzidos em brutal economia para instalações convencionais e muito conforto, facilidade e velocidade para sistemas móveis de reforço de locadoras.

Na linha da otimização, uma ideia interessante é apresentada pela Sonic Studio. Entre os produtos está o Amarra player numa série de versões e alternativas. Além desses há o iRC, que é o Impulse Response Correction para os players Amarra. Estou me referindo a um aplicativo de baixo custo para medições destinadas a efetuar correções nos locais, e que pode surpreender pela acuidade com que foi elaborado. A tecnologia iRC é parte integrante do Amarra Symphony com iRC.

O iRC pode ser feito para uma pequena sala de música com um único local onde fica o audiófilo, ou para uma sala de música maior com alguns lugares e, também, para auditórios de quaisquer tamanhos.

A Sonic Studio sustenta que a própria sala é o fator limitativo da maioria dos sistemas de som. Com base nisso informa que o iRC combina o sistema de som existente com a assinatura acústica da sala que se mede, com a finalidade de produzir um nível de clareza e definição sem precedentes.

Muito bem, então o que é exatamente o iRC? É um aplicativo tipo stand-alone que se incumbem de realizar duas tarefas. A primeira é servir como ferramenta para medições de áudio com vistas a modelar a acústica da sala. A segunda é operar como engenho de análise que se vale das medições feitas anteriormente para criar filtros. Em princípio, esses filtros tem o propósito de corrigir as anomalias de tempo, de fase e desequilíbrios tonais da energia acústica presente na sala, como lida pelo microfone de teste necessário para as medições. Os filtros de otimização devem ser salvos para uso no Amarra Symphony.

Veja mais detalhes no site

Você também pode ver um clipe muito interessante no link <https://www.youtube.com/watch?v=mcZTPEofxfl>

7.7.8.1 Retoques Eventuais Uma vez içados os line arrays, ajustes finos de angulação podem ser feitos no domínio digital, sem qualquer necessidade de alterações físicas de altura, azimuth, zênite ou tilt.

Até mesmo por recursos como esse a otimização numérica é considerada um recurso moderno capaz de oferecer resultados substancialmente melhores do que é possível com processos manuais e invariavelmente demorados. Um autêntico estado da arte.

Os resultados sônicos finais abrangem, comprovadamente, equilíbrio tonal superior por todo o espectro de frequências e para toda a região da plateia, coberturas acústicas consideravelmente mais refinadas do que jamais se conseguiu antes, ombreando com gamas dinâmicas bem mais elevadas por força da obtenção de relações sinal/ruído mais favoráveis e, o que é de importância capital, de níveis de inteligibilidade da palavra muito superiores aos que se pode obter por meios convencionais, especialmente em ambientes muito reverberantes.

Ou seja, a qualidade sônica de sistemas assistidos por software implementando filtros FIR são muito consistentes considerados todos os assentos da plateia.

Portanto, discutimos acima um processo muito sofisticado e atual de tunagem fina do sistema, capaz de produzir resultados surpreendentes comparados aos processos de tunagem tradicional. Um aspecto que me parece admirável nessa nova maneira de tunar sistemas de áudio é a acuidade cirúrgica obtida nas coberturas verticais, que são totalmente customizáveis.

Quem quiser pode constatar com muita facilidade que proliferaram no mercado muitas ferramentas laser para assegurar que a orientação espacial dos line arrays e demais falantes seja feita com precisão de minutos e, eventualmente, de segundos. Pois bem, nestas alturas do campeonato isso torna-se um tanto ou quanto obsoleto já que os ajustes eletrônicos podem facilmente compensar desajustes mecânicos com larga margem para acomodações físicas. Embora escreva isso, pessoalmente sou favorável ao uso dessas ferramentas laser, reservando o processamento para o que realmente é fundamental.

Por tudo o que escrevi não deve restar nenhuma dúvida que estamos diante de um assunto cuja importância raramente será rivalizada por outros assuntos de tecnologia de introdução recente. Muita gente tem me procurado para discutir tecnicamente o tema tecnologia FIR. Percebo que muitos profissionais atribuem a essa tecnologia emergente propriedades de feitiçaria e de encantos na linha do sortilégio. Nada disso. A importância existe mas os limites também se fazem presentes.

Pessoalmente entendo que o melhor dos mundos é a feliz combinação de emprego de práticas consagradas da engenharia de áudio e conceitos tecnicamente bem fundamentados com a tecnologia FIR. Isso sim é um coquetel de bom senso e uma postura de profissionais preparados para enfrentar as dificuldades à frente, sem o perigo de depositar mais esperanças do que é razoável em ferramentas que, de fato, são de entusiasmar.

Para finalizar esse assunto quero mencionar o fantástico software FIRMaker, desenvolvido pela AFMG de Berlin. Essa é uma ferramenta moderna e com potencial para fazer com que locais muito difíceis tenham sistemas ajustados ao limite de seus respectivos potenciais. Portanto, oferecendo as melhores condições possíveis para a obtenção de resultados.

7.7.8.2 Links

Recomendo uma consulta aos seguintes links: http://www.afmg-support.eu/SoftwareDownloadBase/FIRmaker/FIRmaker_White_Paper.pdf

O link acima é o de um white paper da AFMG sobre o FIRMaker.

<http://www.symetrix.co/wp-content/uploads/2011/03/Sound-Reinforcement.pdf>

Este segundo link é do Symetrix, e o produto focado é o Jupiter 8. Um processador de falantes que conta com recursos de filtros FIR de alta resolução.

7.7.9 Mais Ferramentas Para Todos Os analisadores FFT de dois canais, a variedade mais comum entre os engenheiros e técnicos de áudio, têm condições de produzir Respostas de Impulso de quaisquer salas (RIR – Room Impulse Resposta). Veja uma Resposta de Impulso na figura 7.146.

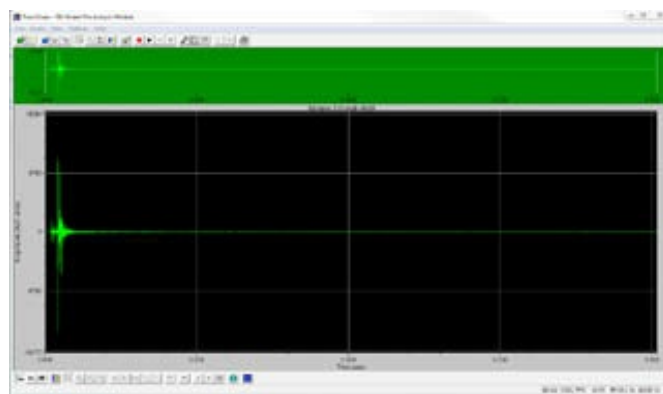


figura 7.146 a típica Resposta de Impulso do domínio do Tempo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como se percebe, a Resposta de Impulso da figura 7.146 está no domínio do tempo. Mas ela pode ser facilmente transformada para o domínio da frequência mediante aplicação da FFT, a Transformada Rápida de Fourier, de modo que pode ser representada como magnitude e fase. A figura 7.147 mostra a mesma Resposta de Impulso da figura 7.146, mas agora uma plotagem de magnitude versus frequência.

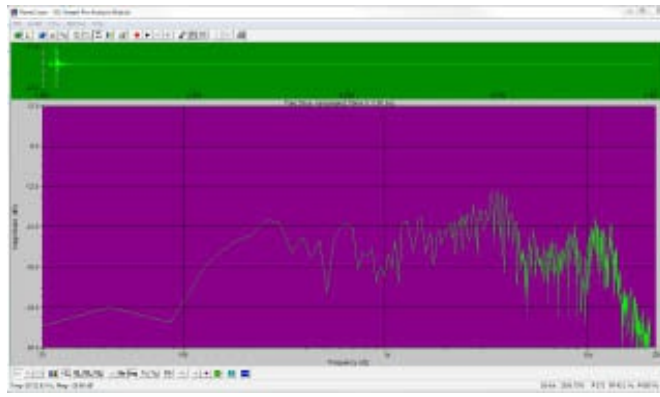


figura 7.147 a mesma resposta de impulso da figura 7.146, agora no domínio da frequência acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Todos os analisadores FFT possibilitam que se faça a operação inversa, ou seja, AFFT inversa, o que volta a Resposta de Impulso para o domínio do tempo e voltamos para o que mostra a figura 7.146.

Como estamos falando de respostas finitas porque todas elas atingem o valor zero depois de um certo tempo, podemos concluir que Respostas de Impulso, tanto as das salas e locais fechados, quanto a de alto-falantes, são filtros FIR.

Já falamos antes de convolução e de deconvolução. Então você já sabe que é possível convolver programas musicais secos em formato wav com Respostas de Impulso de salas (RIR) reverberantes, também em formato wav, para obter auralizações específicas. Do mesmo modo, é perfeitamente possível deconvolver os programas já incorporando as assinaturas acústicas das salas para se chegar às Respostas de Impulso.

Aliás, se você tiver interesse me aprofundar um pouco nessas questões, inclusive fazer em seu próprio computador as operações de convolução e de deconvolução, há um aplicativo tipo stand-alone gratuito que permite tais exercício, exigindo apenas um pouco do seu tempo. Trata-se do GratisVolver v1.4b, parte do CATT-Acoustic v9. Se você entrar no site da CATT, verá informações sobre previsões acústicas e auralizações, sobre modelamento acústico incluindo superfícies e suas propriedades, diretividade das fontes de programa, *etc*.

Dessa forma você pode ouvir como um ambiente, representado por sua Resposta de Impulso, influencia uma programação musical e/ou de voz gravada em ambiente anecóico.



figura 7.148 uma das janelas de comunicação do CATT GratisVolver acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.148 dá uma ideia de como são as janelas do GratisVolver, que pode ser baixado do site www.catt.se após você ter selecionado a opção “free software”.

O site da CATT informa também sobre outra coisa muito interessante. É uma suite voltada para os filtros FIR, a FIRverb. Esta parte não é gratuita. Entretanto a CATT oferece um período de avaliação de 30 dias. Tempo suficiente para se testar na prática se o investimento valerá a pena. O FIRverb é essencialmente um gerador de RIR (Room Impulse Response) imaginada para produzir sons com reverberação muito natural e resultados sônicos de qualidade. Para tanto, são usados microfones virtuais empregados com técnicas monofônicas, com transdutores omnidirecionais ou cardióide, mas também com técnicas estereofônicas como o par coincidente, a estéreo AB, o som surround com 5 canais, *etc.*

Os algoritmos FIR empregados no FIRverb são de última geração, basicamente desenvolvidos para o CATT-Acoustic. As bandas de oitava vão de 125 Hz a 16 kHz, e os parâmetros são tamanho do espaço, localização da fonte virtual de programa, índice DI da fonte de programa (diretividade), localização do microfone virtual, Tempo de Reverberação RT_{60} , índice de difusão, distribuição da absorção acústica pelas superfícies internas da sala, distribuição dos índices de reflexão pelas superfícies internas da sala e densidade reflectométrica.

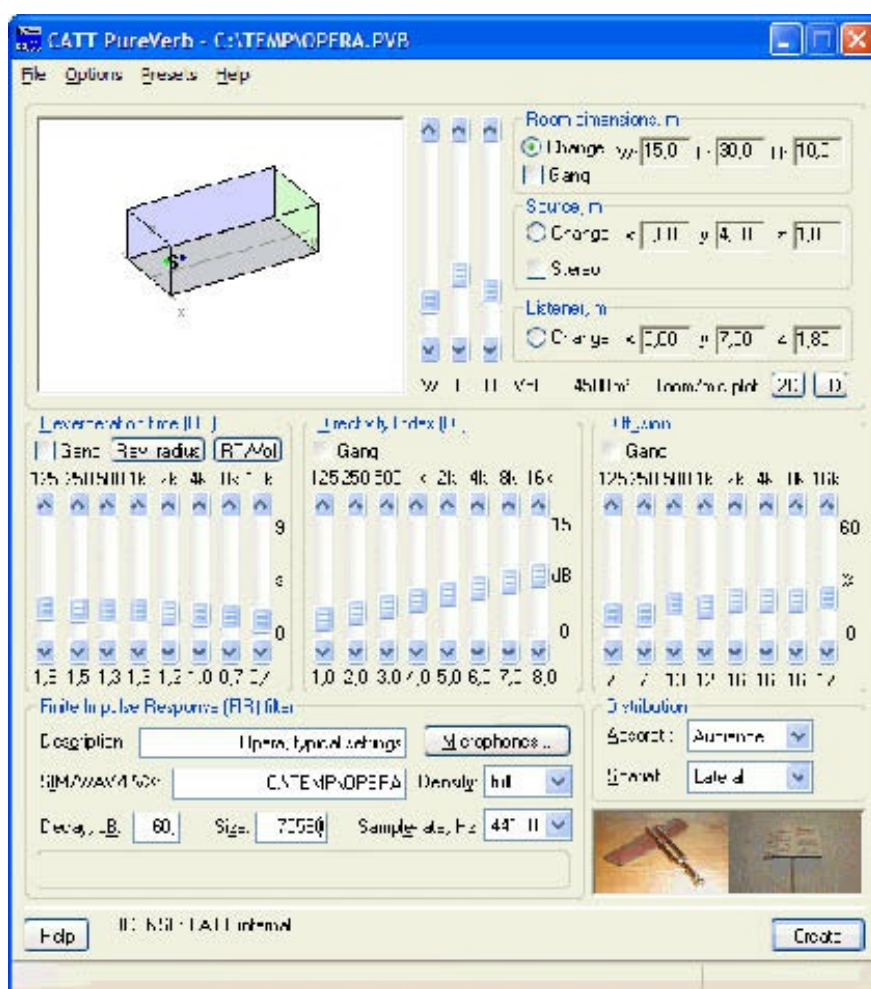


figura 7.149 aparência típica do PureVerb, da Suite FIRverb acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 7.14 mostra uma das telas do PureVerb, que é parte da Suite FIRverb. Este é gerador FIR virtual ao qual me referi antes. A Suite também inclui o MultiVolver, que é uma ferramenta de convolução multicanal clássica e muito rápida. O MultiVolver tem capacidade de convolver e mixar 8 x 8 canais em quaisquer combinações de saída. Dessa forma, é possível obter 8 canais na saída, que podem ser utilizadas para um sistema de 7.1 canais. A figura 7.150 mostra uma das telas do

MultiVolver.

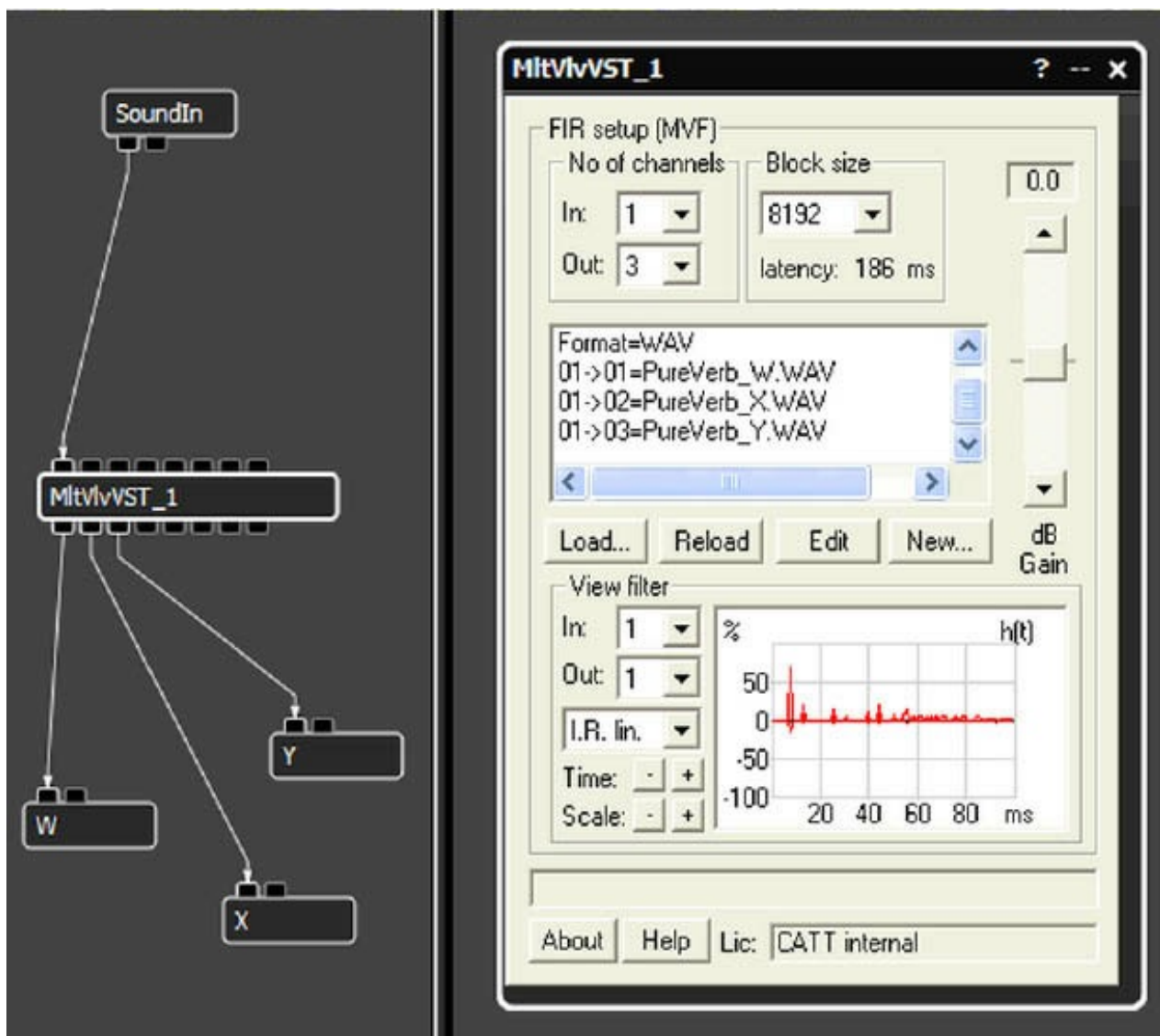


figura 7.150 tela de abertura do MultiVolver acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O rePhase FIR tool é um programa freeware que gera filtros FIR cuja tarefa é compensar as rotações de fase introduzidas por crossovers eletrônicos convencionais. Evidentemente o rePhase também pode gerar crossovers de fase linear. Com o concurso de engenharia de filtragem FIR em tempo real, também chamado de convolutor, como o miniDSP da OpenDRC ou o miniSHARC, é possível se chegar a um sistema multivias com crossover, amplificadores e alto-falantes de fase linear. O rePhase pode ser baixado do site da Sourceforge.

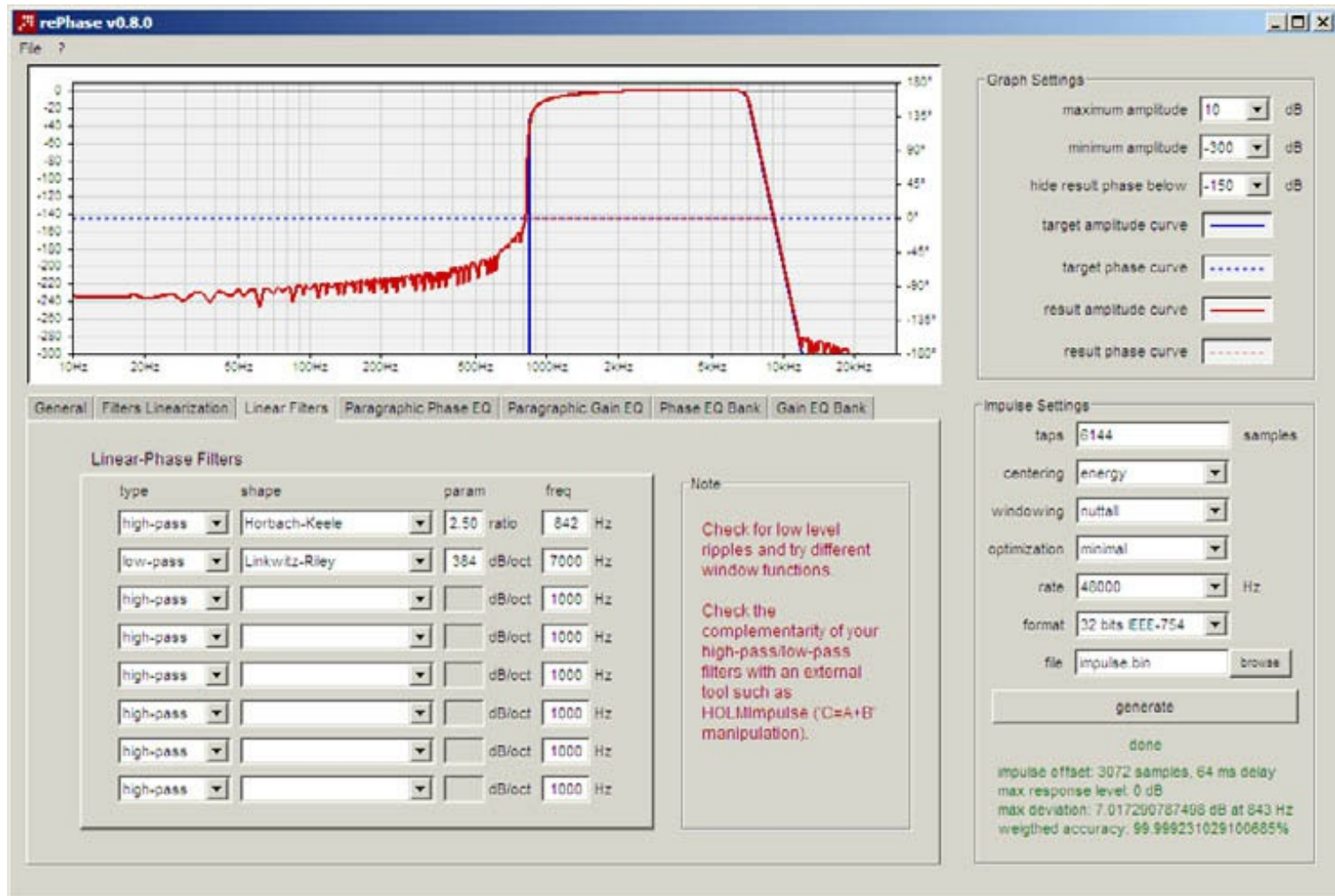


figura 7.151 screenshot do rePhase da Sourceforge acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 7.152 outro screenshot do rePhase da Sourceforge acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 7.151 e 7.152 mostram alguns screenshots do rePhase, para que se tenha uma ideia do que é essa ferramenta. Uma das vantagens do rePhase é que ele permite gravar os arquivos dos filtros FIR em vários formatos, incluindo-se o wav. Isto posto, é possível convolver o sinal com quaisquer outros sinais de áudio, tanto em tempo real quanto em pós produção.

Lembre-se que para trabalhar em tempo real é preciso ter em mãos um hardware mínimo, como os convolutores miniDSP da OpenDRC e o miniSHARC, já citados anteriormente. Eles podem ser adquiridos através do site <http://www.minidsp.com/products>

Aliás, é uma experiência muito legal entrar no site minidsp.com e estudar cada detalhe apresentado. É um site muito sério, com material de primeira e uma longa lista de artigos técnicos abordados de forma coloquial. O idioma do site é o inglês. Se você não consegue ler inglês, sempre pode lançar mãos dos recursos que a Internet oferece, como os tradutores de

texto.

O projetista de eletroacústica conta com um verdadeiro arsenal de recursos para lidar com o dimensionamento eletroacústico de praticamente quaisquer ambientes ou fechados que se possa imaginar.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 8 interligação entre equipamentos



Conteúdo do capítulo 8

8.1 INTRODUÇÃO

8.2 FUNDAMENTOS BÁSICOS

8.2.1 Linhas Balanceadas e Não Balanceadas 8.2.1.1 Linhas Balanceadas

8.2.1.2 Linhas Não Balanceadas 8.2.1.3 Retrospecto Histórico 8.2.2 O Conceito de Impedância 8.2.2.1 Vamos Ver as Impedâncias Pelo Averso?

8.2.2.2 Transferência de Energia de um Aparelho para o Seguinte 8.2.2.3 As

Impedâncias dos Aparelhos 8.2.3 Topologias dos Circuitos de Saída e de Entrada

8.2.4 Níveis dos Sinais

8.3 AS INTERLIGAÇÕES QUANTO AO BALANCEAMENTO

8.3.1 A Regra SUE

8.3.2 Interligações Balanceadas 8.3.2.1 Transformador para Transformador 8.3.2.2

Saída Eletronicamente Balanceada para Entrada Eletronicamente Balanceada 8.3.2.3

Transformador para Entrada Eletronicamente Balanceada 8.3.2.4 Saída

Eletronicamente Balanceada para Transformador 8.3.3 Interligações Mistas

8.3.3.1 Saída Eletrônica Não Balanceada para Transformador 8.3.3.2 Saída

Eletrônica Não Balanceada para Entrada Eletronicamente Balanceada 8.3.3.3

Transformador para Entrada Eletrônica Não Balanceada 8.3.3.4 Saída

Eletronicamente Balanceada para Entrada Eletrônica Não Balanceada 8.3.3.5

Comentários e Alternativas 8.3.4 Interligações Não Balanceadas 8.4 AS

INTERLIGAÇÕES QUANTO ÀS IMPEDÂNCIAS

8.4.1 Interligações Não Terminadas 8.4.2 Interligações com Impedâncias Casadas 8.4.3

Interligações Subterminadas 8.4.4 Sistema Bridged ou Casamento de Voltagem 8.4.5 A

influência das Impedâncias dos Cabos de Interligação 8.5 AS INTERLIGAÇÕES

QUANTO ÀS TOPOLOGIAS DOS APARELHOS

8.5.1 Tipos de Cargas dos Aparelhos de Áudio 8.5.1.1 Amplificador Operacional

Único 8.5.1.2 Amplificador Operacional Dual - Modo Corrente 8.5.1.3 Amplificador

Operacional Dual - Modo Voltagem 8.5.1.4 Amplificador Operacional Triplo 8.5.1.5

Considerações Sobre as Quatro Configurações Anteriores 8.5.1.6 Transformador

8.5.2 Tipos de Fontes dos Aparelhos de Áudio 8.5.2.1 Referenciadas a Terra 8.5.2.2

Ativas Flutuantes

8.5.2.3 Flutuantes a Transformador 8.5.2.4 Comportamento das Fontes Quanto ao

Tipo de Carga 8.6 AS INTERLIGAÇÕES QUANTO AOS NÍVEIS DOS SINAIS

8.7 LIGAÇÕES AMPLIFICADOR - CAIXAS ACÚSTICAS

8.7.1 Associação de Caixas Acústicas 8.7.2 As Impedâncias

8.7.3 Os níveis dos Sinais

8.7.3.1 As Alternativas Possíveis 8.7.3.2 Como os Amplificadores Podem Danificar as Caixas Acústicas 8.7.3.3 Escolha Sua Alternativa 8.8 PENSANDO NO SISTEMA COMPLETO

8.8.1 A Lógica do Encadeamento 8.8.2 Sistemas Convencionais

8.8.2.1 Desperdício de Potência Elétrica 8.8.2.2 Falta de Melhor Adaptação de Impedâncias 8.8.2.3 Degradação do Fator de Amortecimento do Sistema 8.8.2.4 Imposição de Distorção de Fases 8.8.2.5 Alteração das Características de Direcionalidade dos Falantes 8.8.2.6 Redução da Margem Operacional 8.8.3 Sistemas Multivias

8. INTERLIGAÇÃO ENTRE EQUIPAMENTOS

8.1 INTRODUÇÃO

Tendo chegado até aqui, podemos dizer que a parte eletroacústica do projeto, geralmente seu trecho mais importante, praticamente já está concluída.

Uma vez orientadas as escolhas dos equipamentos, já teremos pensado em como interligá-los para obter os resultados pretendidos. E se possível, ainda melhores. A importância dessa frase aparentemente simplória jamais deve ser menosprezada.

Aliás, faço questão de enfatizar o termo “resultados pretendidos”, como empregado acima.

Se pretendemos obter resultados, devemos trabalhar para que eles aconteçam. E uma das grandes chances que se nos apresentam nesse sentido, é exatamente quando temos que pensar na escolha dos equipamentos.

A importância dessa afirmativa ganha cores ao mencionarmos que, independentemente de quaisquer outras coisas, já é bastante difícil obter resultados, dentro de um certo padrão de pretensões. E ultrapassar marcas anteriormente estabelecidas, então, já é algo ainda mais raro.

Portanto, devemos encarar de frente o fato que o sucesso das interligações dependerá muito dos critérios concernentes havidos ao longo de todo o procedimento de escolha dos aparelhos.

Particularmente no que se refere aos cuidados especificamente tomados para que estas mesmas interligações, que serão feitas na etapa de instalação do sistema, sejam bem sucedidas.

Em outras palavras, as interligações serão tão mais facilmente trabalhadas, e os resultados terão grau de acerto técnico tão maior quanto mais isso tenha sido considerado durante o procedimento de escolha dos componentes do sistema.

Creio que este é um dos aspectos que ficará bastante evidente nas linhas seguintes. Que por isso mesmo, também pode ser utilizado como um guia para que façamos as escolhas apropriadas. Ou poderá ser tarde demais.

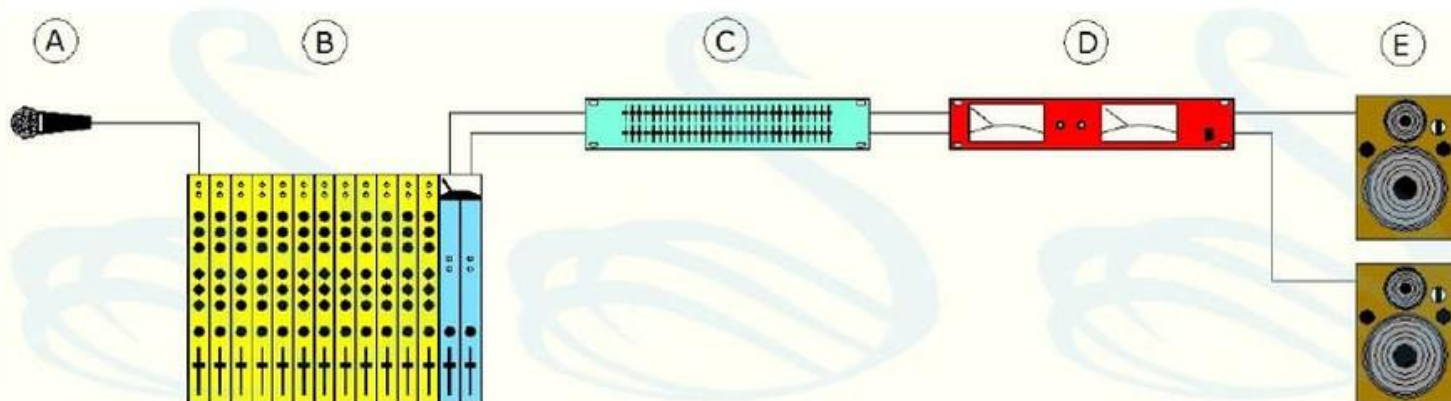


figura 8.1 interligação sequencial de 5 aparelhos formado um sistema acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 8.1 mostra 5 aparelhos de áudio interligados numa sequência clássica. Esse modo de ligar sucessivamente vários aparelhos representa uma das formas de associá-los, dando-lhes a configuração de um todo, ao que chamamos sistema de sonorização.

Por exemplo, os aparelhos A, B, C, D e E poderiam ser um microfone, uma console de mixagem, um equalizador, um amplificador de potência e um alto-falante, respectivamente. O que configuraria um pequeno sistema de reforço de voz.

E as ligações poderiam ser feitas exatamente como ilustra a figura. Essa sequência é comumente referida como cadeia de áudio, ou encadeamento de áudio, ou ainda, ligação “Daisy chain”.

Do ponto de vista de obter as interligações de um sistema, há duas maneiras diferentes de conduzirmos as coisas.

Numa delas, a perspectiva é localizada. Ou seja, pensamos apenas na interligação entre dois aparelhos consecutivos quaisquer da cadeia. Como os aparelhos B e C da figura 8.1.

Quando escolhemos essa forma, geralmente temos o objetivo de efetuar análises de profundidade sobre as interligações em sua forma mais simples. Essa prática nos permite conhecer detalhes muito importantes das interligações que, uma vez dominados, podem nos ser de ajuda inestimável.

Essas análises podem e devem se estender aos principais tópicos que caracterizam as interligações entre dois aparelhos, quais sejam:

- a interligação e as condições de balanceamento das saídas e das entradas
- a interligação quanto às impedâncias das saídas e das entradas
- a interligação quanto às topologias das saídas e das entradas dos aparelhos interligados
- níveis mais adequados dos sinais de saída, e a capacidade das entradas de tratá-los

A outra maneira de vermos as interligações é por uma ótica de sistema, bem mais abrangente e global. O que pretendemos com isso é ter uma visão de conjunto, na qual o sistema é considerado como uma entidade única.

Tal visão mais geral do todo nos permite avaliar a lógica do encadeamento. E sempre de um ponto de vista muito favorável. O que só faz sentido técnico se tivermos feito as análises anteriores. Até porque é essa visão global que poderá ensejar retoques a fazer nas ligações entre os aparelhos, antes analisadas.

O caminho mais fácil e lógico a seguir parece ser mesmo evoluir do individual para o global.

Isto é, construímos o todo a partir de elementos menores, cada qual já previamente investigado com a suficiência de detalhes. E esse é o caminho que seguiremos até o final deste capítulo.

O item 8.2 é dedicado exclusivamente aos aspectos conceituais pertinentes, passando por tópicos consideravelmente relevantes, como o conceito de balanceamento, os conceitos associados às impedâncias, um estudo de alguma profundidade sobre as topologias das entradas e das saídas dos aparelhos, e também, pelos principais elementos relativos aos níveis dos sinais.

Já passando para o lado prático do assunto, no item 8.3 discutiremos as interligações entre dois aparelhos quanto aos balanceamentos das saídas e das entradas.

No item 8.4 são discutidos os efeitos das impedâncias de saída e de entrada sobre as interligações.

A seguir, no item 8.5, tratamos da topologia dos circuitos das entradas e das saídas, e também, de sua muitas vezes “invisível” influência sobre as interligações.

No item 8.6 discutimos os níveis dos sinais de saída dos aparelhos e sua relação com a capacidade de seu controle pela entrada subsequente. E naturalmente, o que caracteriza a incompatibilidade.

O item 8.7 é inteiramente dedicado às discussões sobre um tipo de interligação muito comum, mas que pode ser entendido como sendo especial. São as interligações entre amplificadores e alto-falantes.

Até aqui, apenas teremos visto toda a base que suporta as análises das interligações entre dois aparelhos, e nada sobre a visão mais ampla de sistema. O que é objeto do item 8.8.

8.2 FUNDAMENTOS BÁSICOS

8.2.1 Linhas Balanceadas e Não Balanceadas

8.2.1.1 Linhas Balanceadas

Para que possa ser considerada balanceada, uma linha de áudio deve ser formada por dois condutores.

Além disso, em qualquer plano transversal à direção da linha, as voltagens em cada um dos dois condutores, com relação a um condutor de referência, devem ser iguais em magnitude e apresentar polaridades opostas.

Do mesmo modo, as correntes elétricas nos dois condutores devem ser iguais em magnitude e seguir direções opostas.

No caso específico do áudio, o condutor de referência é geralmente a terra.

A condição essencial para que todos estes requisitos sejam satisfeitos é que as impedâncias dos dois condutores sejam iguais com relação ao condutor de referência, ou à terra.

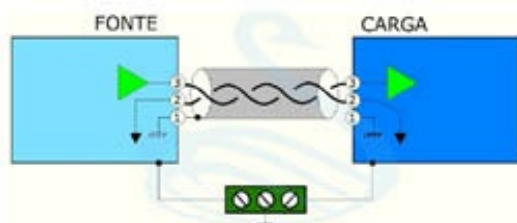


figura 8.2 interligação balanceada entre dois aparelhos de áudio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É absolutamente importante entender que a impedância de cada condutor com relação à terra é determinada por literalmente tudo o que está ligado nele.

De fato, cada componente ligado na linha de áudio influi, ajudando ou atrapalhando a manutenção de seu balanceamento.

A figura 8.2 ilustra uma interligação balanceada entre dois aparelhos de áudio.

8.2.1.2 Linhas Não Balanceadas

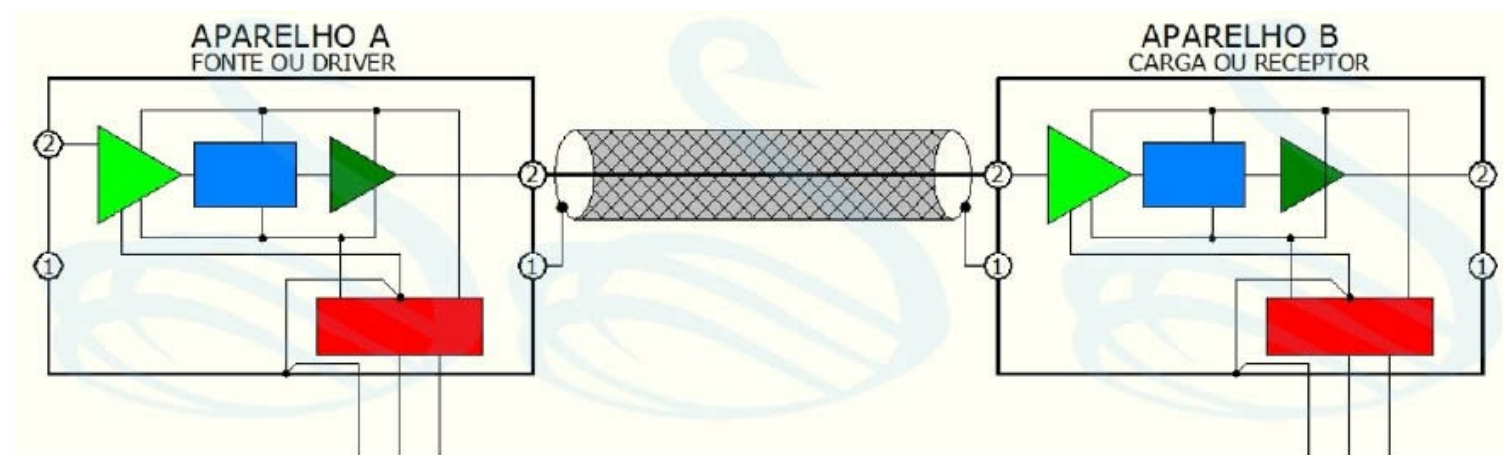


figura 8.3 interligação não balanceada entre dois aparelhos de áudio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A linha de áudio não balanceada também pode ser formada por dois condutores.

Mas aqui, um desses condutores é o condutor referência. E no caso de áudio, uma referência aterrada.

Desse modo, a voltagem na linha não balanceada é sempre medida sobre o condutor não aterrado, tomando-se como referência o condutor aterrado.

A figura 8.3 ilustra uma interligação não balanceada entre dois aparelhos de áudio.

8.2.1.3 Retrospecto Histórico Vamos ligar a máquina do tempo?

Estamos voltando aos dias em que a indústria telefônica ainda ensaiava seus primeiros passos. E aos tempos em que as técnicas de distribuição de energia CA estavam emergindo do

vácuo.

Nessa ocasião, os engenheiros que cuidavam dos aspectos técnicos desses sistemas tiveram que enfrentar uma série de problemas, então, absolutamente inusitados.

Dado o tremendo potencial de mercado daqueles novos sistemas, o impressionante alcance social que as novas tecnologias prometiam, e o astronômico volume de dinheiro envolvido, esses técnicos receberam a incumbência de digerir todos esses problemas, e em resposta, apresentar soluções rápidas, adequadas e consistentes.

Tendo em vista as dimensões das aplicações e as características físicas desses sistemas públicos, erros, mesmo que muito pequenos, podiam significar o desperdício de fortunas e o atraso de anos. Talvez de décadas.

E os engenheiros logo aprenderam que, em razão de seus longos lances físicos, para que apresentassem resultados técnicos satisfatórios, as linhas telefônicas e as linhas de distribuição de energia CA deveriam ser balanceadas.

De fato, resultados sequer aceitáveis não vinham sendo obtidos com linhas não balanceadas.

Assim, a indústria telefônica foi a pioneira na utilização das linhas balanceadas em grande escala.

É preciso recordar que os primeiros sistemas telefônicos construídos não possuíam amplificação ativa. E como precisavam transferir potências de áudio a distâncias de até 40 quilômetros, ou mais, era imperativo que a transferência de energia fosse a máxima possível.

Veremos adiante que a condição para que a transferência de energia entre dois aparelhos elétricos interligados seja a máxima possível, é que a impedância de saída do primeiro seja exatamente igual à impedância de entrada do segundo. Ao que se chama regime de impedâncias casadas.

As linhas telefônicas primitivas eram construídas com dois condutores bitola 6 AWG, espaçados em aproximadamente 30 centímetros. O que lhes conferia uma impedância característica de 600Ω . Desse modo, a impedância 600Ω tornou-se o padrão das linhas telefônicas balanceadas.

À medida em que as redes telefônicas foram aumentando e se integrando em sistemas maiores, inicialmente locais, depois interurbanos, a seguir nacionais, e finalmente, no sistema global internacional, surgiu a necessidade de que os sinais duplex (enviado/recebido) fossem separados em duas partes distintas.

Essa necessidade era determinada pelo fato de que os sinais tinham que ser amplificados unidirecionalmente, para posterior transmissão a longas distâncias.

Com esse objetivo, foi e ainda é utilizada uma bobina especial, chamada bobina híbrida.

Entretanto, sua operação correta depende de forma crítica do casamento de impedâncias de 600Ω .

Naturalmente, a tecnologia desenvolvida pela indústria telefônica encontrou seu caminho na direção das transmissões de rádio, e posteriormente, na direção da indústria da gravação e do áudio profissional.

Vale observar que, pelos motivos expostos, ainda hoje, todas as linhas telefônicas que portam sinais analógicos são balanceadas, com impedâncias casadas em 600Ω , e muitas delas, sem proteção dada por qualquer tipo de blindagem.

Mas a alta-fidelidade também entra em nossa história.

No início dos anos 50, os engenheiros da indústria da alta fidelidade estavam desenvolvendo sistemas que trabalhavam com pequenas distâncias. Usualmente limitadas pelas dimensões dos cômodos de uma residência, e na maioria das vezes, pelas dimensões de um simples armário.

Portanto, o critério de desenvolvimento desses equipamentos tinha por base o emprego exclusivo de linhas não balanceadas. Uma das razões que sustentava esse critério era o menor custo das interligações não balanceadas com relação às balanceadas. E na época, o diferencial de preço era mesmo de fato considerável.

Cada uma dessas duas classes de engenheiros, a dos sistemas telefônicos e a dos sistemas domésticos de áudio, evoluiu a partir de necessidades e princípios diferentes, embora ambas estivessem filosoficamente corretas do ponto de vista de adequação de sua própria base de partida à suas exigências e perspectivas técnicas.

Uma corrente era exclusivamente orientada para as linhas balanceadas, e outra para as linhas não balanceadas.

Com o passar do tempo cada um desses naipes técnicos acumulou experiências distintas de tecnologia e de projetos, o que deu origem aos dois mundos opostos mas familiares do áudio, o não balanceado e o balanceado, tal como os conhecemos hoje.

A progressiva e contínua redução de custos de componentes e de produtos, e o ideal de lançar novos artigos sempre com melhor qualidade do que os anteriores, levou alguns dos fabricantes de áudio de consumo “pro” a repensar e substituir as conexões não balanceadas de seus aparelhos por outras, balanceadas. O que é verdade atualmente.

Evidentemente, o que esses fabricantes pretendem é incrementar o desempenho de seus produtos nas residências dos consumidores.

E agora, na prática, estamos diante de uma difícil fusão entre os universos balanceado e não balanceado. O que cria algumas dificuldades.

Por exemplo, muitos proprietários de estúdios domésticos, até pouco tempo atrás contentes

e felizes com seu mundo não balanceado, passaram a sonhar com melhores desempenhos de seus sistemas, que poderiam vir com a substituição gradativa dos equipamentos não balanceados pelos balanceados.

Mas, infelizmente, muitas vezes esses indivíduos acabam perdidos nas interligações que devem ser feitas. Com resultados frustrantes e sensação de investimento mal feito.

Por outro lado, é absolutamente fundamental que tenhamos em mente que, se para a indústria telefônica era crucialmente importante transferir o máximo de potência de um lugar para outro, em áudio profissional o objetivo final é muito diferente. De fato, o que se deseja é a transferência da máxima voltagem possível.

8.2.2 O Conceito de Impedância 8.2.2.1 Vamos Ver as Impedâncias Pelo Avesso?

Sabemos que os resistores se opõem à passagem de corrente elétrica, seja ela do gênero contínuo ou alternado. Essa oposição recebe o nome de resistência elétrica, e seu valor é dado por

$$R = \frac{U}{I} \quad (8.1)$$

onde

- R é a resistência elétrica, expressa em Ω
- U é a voltagem expressa em volts, e • I é a corrente elétrica expressa em Ampères.

Nossa expressão 8.1 nada mais é do que a conhecida **Lei de Ohm**.

Também sabemos que os capacitores não permitem a passagem de correntes elétricas contínuas, mas deixam passar correntes elétricas alternadas. Não sem restrições. A rigor, eles são tão mais permissivos quanto mais elevada é a frequência. E tão mais rigorosos em sua oposição quanto menor é a frequência. O que matematicamente pode ser traduzido por:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad (8.2)$$

onde

- X_C é a tal oposição, tecnicamente denominada reatância capacitiva, também expressa em Ω , • f é a frequência em Hz, e
- C a capacitância em Farads Os indutores se comportam de forma inversa aos capacitores. Quanto menor é a frequência, menor é a oposição, e quanto maior é a frequência, maior é a oposição à passagem da corrente elétrica. O que pode ser escrito

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (8.3)$$

Onde

- X_L é a oposição, agora, denominada reatância indutiva, também expressa em Ω , • f é a frequência em Hz, e
- L a indutância em Henrys

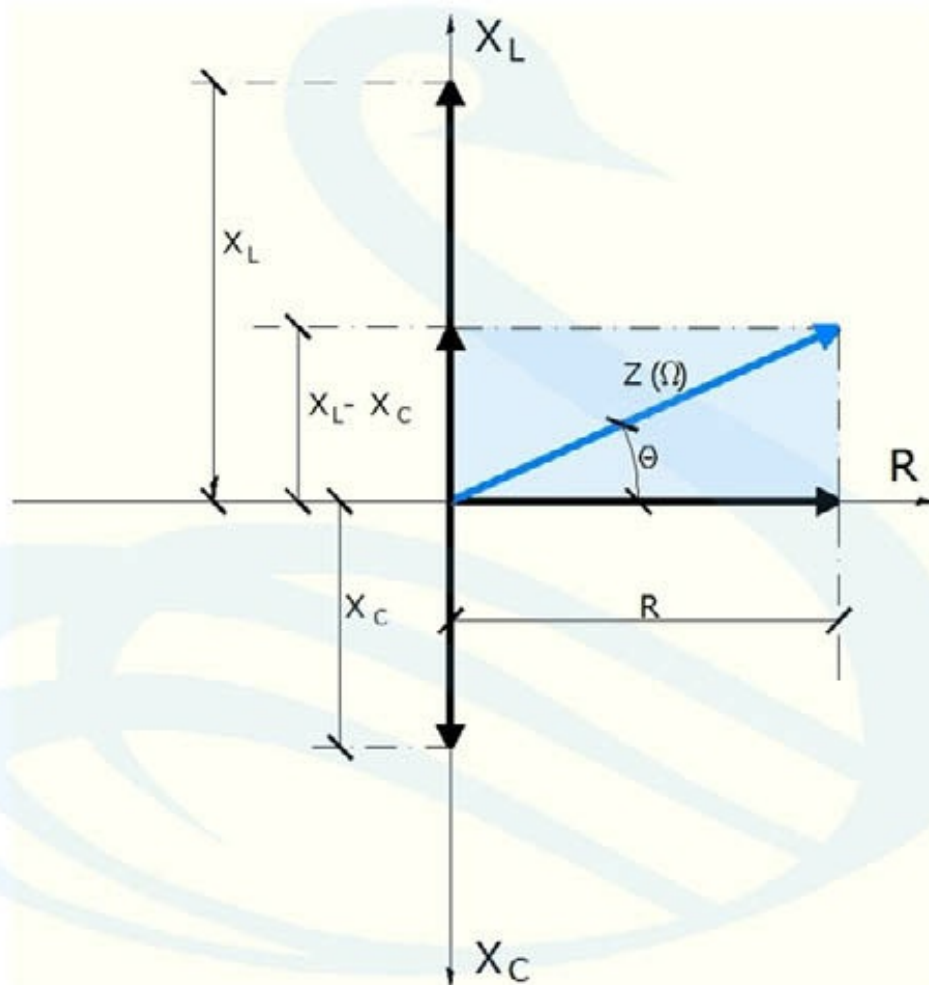


figura 8.4 representação gráfica da impedância acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Considera-se que resistência elétrica é a oposição à passagem de correntes elétricas contínuas impostas pelos resistores ou itens elétricos sem componentes capacitivos ou indutivos. Como os próprios resistores, os filamentos das lâmpadas domésticas, e as resistências dos chuveiros elétricos.

Portanto, quando se emprega o termo resistência elétrica, considera-se que não existam reatâncias capacitivas ou indutivas.

Em termos de áudio, geralmente as entradas e saídas dos circuitos possuem componentes resistivos (resistências elétricas), além de componentes capacitivos e indutivos. E quando isso acontece, a oposição combinada que todos esses componentes apresentam à passagem da corrente elétrica alternada é chamada de impedância. Vamos examiná-la com uma lente de aumento?

Vejam o gráfico da figura 8.4.

Ele representa aqueles componentes dos quais acabamos de falar. No eixo horizontal é representada a resistência, imposta pelo componente resistivo. No eixo vertical, acima do eixo horizontal, é representada a reatância indutiva. E ainda no eixo vertical, mas agora, abaixo do eixo horizontal, é representada a reatância capacitiva. As setas mais escuras representam os

valores exatos de cada componente.

Inicialmente podemos somar os dois vetores (setas) verticais. É uma soma simples. Se o vetor que representa a reatância capacitiva for maior, a diferença ficará abaixo do eixo horizontal. Inversamente, se o vetor que representa a reatância indutiva for maior, a diferença ficará acima do eixo horizontal, como na figura 8.4.

Agora precisamos somar aquela diferença com o vetor da resistência.

Basta que construamos um retângulo, cujo lado vertical é a diferença dos vetores verticais, e o lado horizontal é vetor resistência, como mostra a figura. O resultado é o vetor (seta) Z.

Porque todas essas setas são chamadas vetores? Pois não. Apenas porque a soma que acabamos de fazer é uma soma vetorial.

Pois bem, o vetor resultado Z, é a impedância. Mas não toda ela, apenas o que se chama de módulo da impedância. A rigor, exatamente porque a impedância elétrica é um vetor, ela é definida por duas entidades. Uma é o módulo, como acabamos de ver. A outra entidade é o ângulo de fase. Na figura 8.4 indicado pela letra θ .

Quando dizemos que a impedância de um falante é 8Ω , estamos omitindo o ângulo de fase. É fácil perceber que ele é omitido na grande maioria das especificações de impedância.

Podemos fazer a soma vetorial graficamente para chegar ao módulo da impedância e ao ângulo de fase, como fizemos na figura 8.4. Mas também podemos calcular os valores usando as expressões relacionadas com impedância, que são:

$$X = (X_L - X_C) \quad (8.4)$$

$$Z = \sqrt{X^2 + R^2} \quad (8.5)$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (8.6)$$

$$\theta = \arctan \frac{X}{R} \quad (8.7)$$

Pelo que vimos, fica fácil compreender porque a impedância é sempre dependente da frequência.

Agora vamos ver como medir a impedância.

A técnica é surpreendentemente simples.

Veja a figura 8.5. Ela mostra um gerador de áudio, seguido de um amplificador, que alimenta um alto-falante através de um resistor.

O que queremos medir é o módulo da impedância do alto-falante. O resistor é de um valor

muitas vezes superior ao módulo da impedância que se espera medir. Como queremos medir um alto-falante, é de se esperar que o módulo de sua impedância seja qualquer coisa entre 4 e 16 ohms.

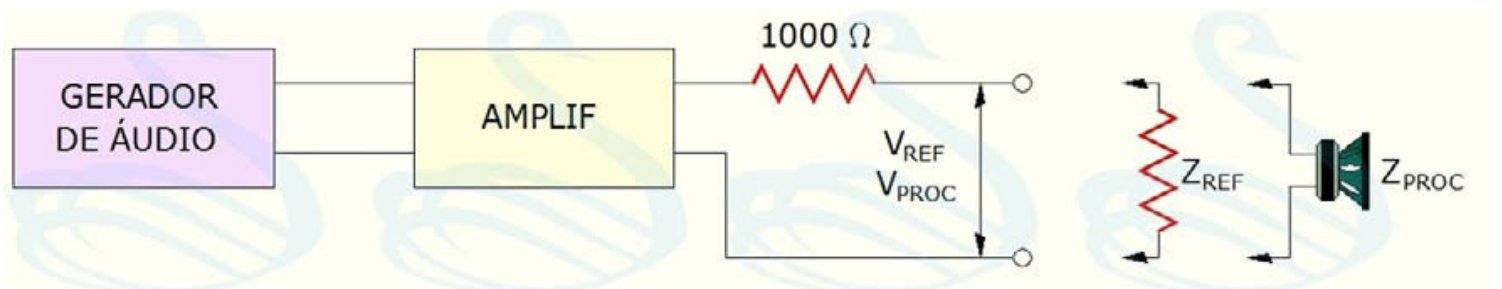


figura 8.5 arranjo para medição de impedância acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Então, o resistor pode ser de 1.000 ohms. Sua função? Pois não, fazer com que o amplificador se transforme numa fonte de corrente constante. Isto é, qualquer que seja o módulo da impedância do falante, ela é desprezível se comparada com o valor do resistor. Assim, o amplificador estará vendo sempre uma carga de aproximadamente de 1.000 ohms. Independente do módulo da impedância que se quer medir. Logo, para uma dada voltagem de saída, a corrente será sempre constante. É o que diz a lei de Ohm.

Basta que a escrevamos

$$I \text{ (ampères)} = \frac{U \text{ (volts)}}{R \text{ (ohms)}} \quad (8.8)$$

Inicialmente, no lugar do falante usamos um resistor com valor conhecido. Digamos, 8 ohms.

Ajustamos o atenuador do amplificador para uma voltagem qualquer, que deverá ser mantida constante pelo resto do processo de medição. Assim, é sempre conveniente manter um voltímetro lendo a saída do amplificador, e quando preciso, ajustá-la para voltar ao valor original.

Iniciamos o processo medindo o valor da voltagem sobre o resistor de 8 ohms. Que deve ser anotado.

A seguir, troca-se o resistor de 8 ohms pelo falante. E medimos a voltagem sobre ele. Se esta voltagem for a mesma que a lida sobre o resistor de 8 ohms, então a impedância do falante será 8 ohms.

Se for menor ou maior, a impedância do falante será proporcionalmente menor ou maior. É só calcular, usando a expressão 8.9.

$$Z_{\text{PROC}} = Z_{\text{REF}} \frac{V_{\text{PROC}}}{V_{\text{REF}}} \quad (8.9)$$

onde

- Z_{PROC} é o módulo da impedância que queremos medir, em ohms
- Z_{REF} é a impedância de referência (em nosso caso, os 8 ohms do resistor)
- V_{PROC} é a voltagem lida sobre a impedância que queremos determinar
- V_{REF} é a voltagem lida sobre o resistor referência

Faremos as medições e o cálculo para uma dada frequência. Como por exemplo 1 kHz. E depois, de preferência, faremos o mesmo para várias outras frequências, abaixo e acima de 1 kHz, apenas ajustando o gerador. Os valores de impedância medidos poderão ser usados para construir um gráfico, que será então a curva do módulo da impedância levantada. Quanto mais frequências usarmos para medir, mais real será a curva.

Assim, podemos fazer a medição de quaisquer módulos de impedâncias de entrada, como por exemplo a impedância de entrada de um equalizador. Apenas devemos usar o resistor série com valor mínimo aproximadamente 100 vezes maior do que a impedância que esperamos medir. Ou nossa fonte de corrente constante será cada vez menos precisa, o mesmo ocorrendo com as medições.

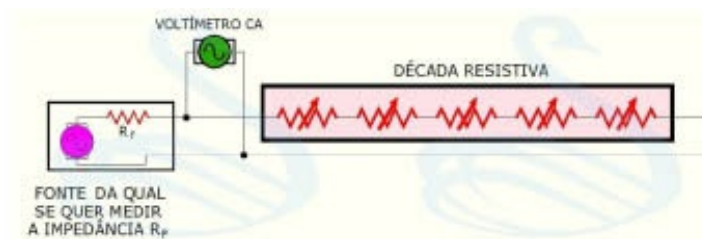


figura 8.6 outro arranjo para medição de impedância acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os módulos das impedâncias de saída são facilmente medidos com o circuito da figura 8.6.

Ajusta-se a caixa de décadas resistivas para seu valor mais elevado. Mede-se então a voltagem produzida a circuito aberto. A seguir, ajusta-se a caixa de décadas resistivas até que a leitura da voltagem caia 6,0 dB em relação à medida anterior.

Nesse ponto, o valor total da resistência indicado na caixa de décadas resistivas é igual à magnitude da impedância de saída considerada.

Quando se deseja conhecer não só a magnitude da impedância, mas também as reatâncias indutiva e capacitiva, além do ângulo da fase, a melhor alternativa é utilizar uma ponte RCL convencional.

Agora que sabemos o que é impedância, vamos ver como um aparelho transfere energia para o seguinte numa cadeia de áudio.

8.2.2.2 Transferência de Energia de um Aparelho para o Seguinte O modelo da figura 8.7 é uma das representações mais simples possíveis que se pode fazer de uma ligação entre dois aparelhos de áudio.

Do lado esquerdo da figura temos a representação da saída do primeiro aparelho, que vai

transferir energia para o outro.

Este primeiro aparelho é denominado fonte.

No caso, representado pelo gerador de voltagem, gerando a voltagem V_F , e pela impedância da fonte, Z_F .

Do lado direito da figura temos o aparelho carga, representado apenas pela impedância de carga, Z_C .

É com esses parâmetros que vamos trabalhar.

Antes de darmos início a qualquer análise, vamos conceituar o que se entende por um divisor de voltagem.

A voltagem V_F , produzida pela fonte, Z_F , aparece sobre o circuito que tem as impedâncias Z_F e Z_C ligadas em série. Por isso, esse circuito será percorrido por uma corrente elétrica (I), que tanto passa por Z_F , quanto por Z_C . De forma que aparecerá uma voltagem sobre Z_F , que é $I \cdot Z_F$ e outra sobre Z_C , que é $I \cdot Z_C$. Claro que a soma dessas duas voltagens é igual a V_F .

Percebe-se então que Z_F e Z_C formam um divisor de voltagem, já que dividem a voltagem V_F entre eles. Como mostra a figura 8.7, a voltagem sobre a carga V_C .

Também é previsível que o sinal sobre a carga, ou seja, a voltagem V_C , não se manterá constante para diferentes valores de Z_C . Porque estaremos alterando o divisor de voltagem.

Isso posto, nosso interesse agora é saber o que acontece com o sinal sobre a carga para diferentes valores de Z_C .

Assim, vamos analisar mais detalhadamente as condições de interligação entre os dois aparelhos, e examinar cuidadosamente os níveis dos sinais de áudio sobre a fonte e sobre a carga. E principalmente, como se comporta a voltagem sobre a carga em função das relações entre as impedâncias Z_F e Z_C , e de seus valores absolutos.

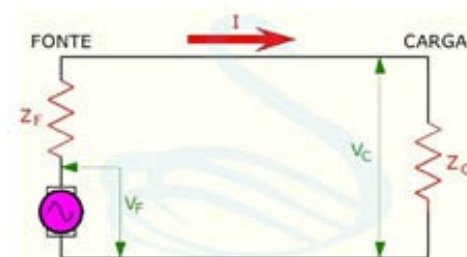


figura 8.7 modelo básico de ligação entre dois aparelhos de áudio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se a voltagem produzida pelo gerador da figura 8.7 é V_F , então a corrente elétrica que flui pelo circuito pode ser calculada por:

$$I = \frac{V_F}{Z_F + Z_C} \quad (8.10)$$

Como a potência dissipada numa impedância corresponde ao produto da própria impedância pela corrente elétrica que flui através dela, elevada ao quadrado, a potência

dissipada na fonte é dada por:

$$P_F = Z_F (V_F / Z_F + Z_C)^2 \tag{8.11}$$

E a potência transferida para a carga é

$$P_C = Z_C (V_F / Z_C)^2 \tag{8.12}$$

Por outro lado, a voltagem sobre a carga é

$$V_C = Z_C (V_F / Z_F + Z_C) \tag{8.13}$$

Se mantivermos fixos os valores dos parâmetros da fonte, por exemplo $Z_F = 600 \, \Omega$ e $V_F = 1$ volt, e ao mesmo tempo, fizermos Z_C variar entre 100 e 1.000 Ω , usando as expressões 8.10 a 8.13, podemos calcular e tabular os números apresentados na tabela 8.1.

tabela 8.1

Z_C (OHMS)	I (AMPÈRES)	P_F (WATTS)	P_C (WATTS)	V_C (VOLTS)
100	0,00143	0,00122	0,00020	0,243
200	0,00125	0,00094	0,00031	0,250
300	0,00111	0,00074	0,00037	0,333
400	0,00100	0,00060	0,00040	0,400
500	0,00091	0,00050	0,00041	0,455
600	0,00083	0,00042	0,00042	0,500
700	0,00077	0,00036	0,00041	0,538
800	0,00071	0,00031	0,00041	0,571
900	0,00067	0,00027	0,00040	0,600
1.000	0,00062	0,00023	0,00039	0,625

Vemos, portanto, que a transferência de potência para a carga é máxima quando as impedâncias da fonte e da carga são idênticas, isto é, casadas. Em nosso exemplo, quando ambas são iguais a 600 Ω .

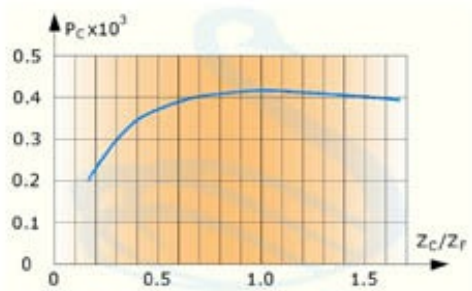


figura 8.8 gráfico mostrando a transferência de energia da fonte para a carga, em função da relação Z_C/Z_F

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 8.8 foi preparada para melhor visualizarmos o comportamento da transferência de energia da fonte para a carga em função da relação Z_C/Z_F .

Ou seja, como se comportam as variações de P_C para diferentes valores de Z_C .

O gráfico mostra claramente aquilo que desejávamos saber, inclusive a ocorrência da máxima transferência para impedâncias casadas.

A tabela 8.1 também deixa evidente que a voltagem sobre a carga é tão mais elevada quanto maior é a impedância de carga.

8.2.2.3 As Impedâncias dos Aparelhos As impedâncias a que vamos nos referir adiante são Z_F e Z_C . Isso mesmo, aquelas da figura 8.7.

impedância de saída (Z_F) A impedância de saída de uma fonte qualquer determina a capacidade de suprimento de corrente elétrica na saída do aparelho. Quanto mais baixa é a impedância, maior é a corrente que o aparelho pode suprir, com menores riscos de danos.

Saídas com impedâncias muito baixas se comportam como fontes de voltagem. Ou seja, há uma forte tendência do aparelho manter a voltagem nominal de saída, mesmo diante de exigências de correntes elétricas que se aproximam da capacidade limite de suprimento.

Ao contrário, saídas com altas impedâncias tendem a se comportar mais como fontes de corrente. Portanto, com pouca habilidade para manter as voltagens de saída. E essa fraqueza é tão maior quanto maior é a exigência de corrente.

Os equipamentos profissionais de áudio possuem duas classes de impedâncias de saída: 600Ω , especialmente nos aparelhos destinados à radiodifusão, e 150Ω , ou menos. Esta segunda classe é a razão de ser do termo fonte de voltagem, como aplicado ao áudio.

impedância de entrada (Z_C) A impedância de entrada de qualquer aparelho governa as principais características de carga com as quais a fonte precedente vai trabalhar. Quanto mais baixa for a impedância de entrada, maior a corrente elétrica exigida da fonte e, como mostra a tabela 8.1, menor a voltagem sobre a própria carga.

A tabela 8.2 oferece uma ideia das impedâncias de entrada e de saída mais comuns de microfones e de aparelhos de áudio.

tabela 8.2

TIPO DE APARELHO	Z_F TÍPICA	Z_C TÍPICA
áudio doméstico	1 a 10 $K\Omega$	50 a 200 $K\Omega$
microfone de baixa impedância	150 Ω	1.500 Ω *
microfone de alta impedância	100 $K\Omega$	1 a 5 $M\Omega$ *
impedâncias casadas 600 Ω	600 Ω	600 Ω
fontes de voltagem	200 Ω	10 a 200 $K\Omega$
sistemas bridged	50 Ω	10 a 200 $K\Omega$

* Impedância de entrada (carga) recomendada para o pré-amplificador subsequente 8.2.3

Topologias dos Circuitos de Saída e de Entrada Cada estágio de circuito eletrônico pode ser imaginado e construído de muitas formas. Em outras palavras, um circuito destinado a desempenhar as mesmas funções pode ser concebido de muitas maneiras.

Cada uma dessas maneiras apresenta seu próprio conjunto de vantagens e de desvantagens.

De forma que, em geral, cada circuito é sempre uma solução de compromisso. Por exemplo, podemos construir um circuito de qualidade excepcional, a um preço “incomprável”. No outro extremo, podemos pensar num circuito absolutamente barato, mas de qualidade sofrível. Também podemos imaginar muitas e muitas alternativas compreendidas entre nossos dois limites, cada qual com seu conjunto próprio de atributos.

Tudo depende apenas de como e onde vamos usar nosso circuito, e para que mercado ele se destina.

Uma visão real dessa situação nos é oferecida pelas consoles de mixagem. Que podem custar apenas poucas centenas de dólares, ou algumas centenas de milhares de dólares. Certamente o mesmo acontece com seus circuitos eletrônicos.

Pois bem, o que se chama de topologia de circuito é apenas a maneira básica, mas própria, de como combinar componentes eletrônicos de modo a atingir um determinado conjunto de objetivos.

É evidente que a cada topologia corresponde um dado conjunto de vantagens e desvantagens em relação a outras topologias, que mesmo não sendo semelhantes, são concebidas para que os circuitos tenham funções semelhantes. Geralmente, com diferentes marcas de desempenho.

Os circuitos de entrada e de saída dos aparelhos de áudio também podem ser construídos de acordo com várias topologias. Como veremos no item 8.5, cada uma delas produz resultados diferentes sobre as interligações feitas com os correspondentes aparelhos.

8.2.4 Níveis dos Sinais

Nem todos os aparelhos de áudio semelhantes oferecidos no mercado produzem os mesmos níveis de sinais em suas saídas. Do mesmo modo, nem todos os aparelhos semelhantes têm suas entradas projetadas para trabalhar com níveis idênticos de sinais.

Isso acontece por vários motivos. Assim como não há padrões de cores, de tamanhos, de quantidade de controles, de tipos de knobs, e de tantas outras coisas, também não há padrões de níveis de sinal. E não vamos confundir isso, que reflete apenas a liberdade de criação de cada fabricante, e suas crenças de que seus produtos são os mais adequados para dadas aplicações, com qualquer tipo de classificação dos níveis dos sinais.

A rigor, os níveis reais de sinal encontrados nos produtos disponíveis no mercado variam

consideravelmente.

Um dos conceitos com os quais devemos nos habituar é o de nível nominal de sinal, que tanto pode ser de saída, quanto de entrada.

Para todos os efeitos, esses níveis nominais são aqueles arbitrariamente especificados pelos fabricantes como tal.

O termo arbitrariamente não tem qualquer conotação pejorativa. Até porque não há outra forma de estabelecer valores nominais.

Os níveis nominais de saída geralmente correspondem ao valor médio típico e usual medido na saída do aparelho quando este é operado em condições normais, com níveis médios de sinal de entrada. Os quais, por sua vez, também acabam sendo especificados como níveis nominais de entrada.

Para amplificadores de potência, os fabricantes costumam especificar os níveis de sinal de entrada com os quais se obtêm as potências nominais de saída.

A tabela 8.3 nos dá uma ideia de como podem variar os níveis nominais dos aparelhos. No caso, sinais de saída.

tabela 8.3

TIPO DE APARELHO	NÍVEL NOMINAL (VOLTS)		
	BAIXO	MÉDIO	ALTO
microfone de baixa impedância	0,00002	0,00020	0,00600
microfone de alta impedância	0,00040	0,00400	0,13000
nível de linha típico de aparelho profissional	0,00800	1,20000	10,00000
nível de linha típico de áudio de consumo	0,00300	0,30000	3,00000
nível de linha de equipamento de transmissão de rádio	0,00800	1,90000	20,00000
amplificador de 200 watts	0,40000	4,00000	40,00000

Para efeito de comparação também foram relacionados os níveis característicos dos aparelhos de áudio de consumo. A ideia dessa comparação não veio sem motivo. Mas porque atualmente vários aparelhos utilizados profissionalmente possuem características de níveis de sinais semelhantes ou próximas às dos aparelhos de áudio de consumo.

Os níveis nominais mais baixos são os dos microfones. As correspondentes voltagens variam tipicamente entre - 74,0 dBV (0,0002 volts) e - 48,0 dBV (0,004 volts).

Os níveis nominais de linha dos aparelhos profissionais estão no entorno de 1,6 dBV (1,2 volts), enquanto os níveis nominais de linha dos aparelhos domésticos, e muitos de seus primos mais próximos, “os semi-pró”, e mesmo os de alguns profissionais de rótulo, ficam no entorno de - 10,0 dBV (0,32 volts). O que infelizmente também é considerado nível de linha. Irk!

Reparem bem nas diferenças existentes entre os níveis nominais de saída dos aparelhos

profissionais e os dos domésticos. Voltaremos a isso no item 8.6.

Uma vez que os sinais de áudio variam desde níveis próximos do zero, por exemplo durante pausas, a valores relativamente elevados, na saída de qualquer aparelho processando autênticos sinais de áudio, vamos encontrar níveis instantâneos consideravelmente mais baixos do que o valor nominal, e também, outros consideravelmente mais elevados.

Essas diferenças para maior e para menor em relação aos valores nominais apenas correspondem às variações intrínsecas dos sinais de áudio. Ou se preferirem, à sua natureza dinâmica.

Até determinados limites, essas diferenças podem ser tratadas sem quaisquer problemas pelos aparelhos. Eles são projetados para isso mesmo.

A partir disso, os aparelhos não têm mais condições de processar os sinais corretamente. E passam a operar em regime de saturação. Podemos avaliar mais facilmente os resultados disso se pensarmos nos amplificadores. Em regime de saturação, o resultado é a deformação dos sinais de áudio, por efeito de ceifamento, ou clipamento. Como vimos no capítulo 4.

Por outro lado, quando os níveis dos sinais na saída de um aparelho são muito débeis, os níveis de ruído ficam muito evidentes. Aqui, quem nos dá o exemplo mais contundente são as máquinas cassete.

As diferenças de amplitude entre esses limites máximos, fixados pela capacidade do aparelho, e mínimos, aquém dos quais os ruídos não são mais mascarados, determinam a gama dinâmica dos aparelhos.

8.3 AS INTERLIGAÇÕES QUANTO AO BALANCEAMENTO

8.3.1 A Regra SUE

Como vimos, são muito comuns as interligações entre aparelhos de áudio feitas com cabos tipo par torcido, ficando a blindagem conectada à terra nas duas extremidades.

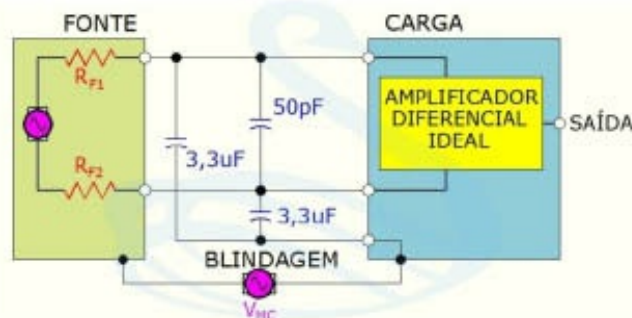


figura 8.9 filtros formados com as capacitâncias dos condutores do cabo de interligação, no caso da blindagem ligada somente do lado da carga acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne E grande parte dessas interligações provoca ruídos. Especialmente entre os sistemas não permanentes. Mas também nos permanentes.

É pensamento generalizado que tais ruídos devem-se às correntes que circulam pelos elos

de terra resultantes das interligações. Que muitas vezes são inevitáveis.

Também se atribui que o acoplamento de ruído ocorre, de alguma maneira, dentro do próprio cabo. Como resultado, há um método popular seguido principalmente pelos projetistas de sistemas permanentes, que é eliminar os elos de terra ligando apenas uma das extremidades da blindagem.

Ao que denominei regra SUE, uma abreviação para **S**omente **U**ma **E**xtremidade.

Qual das extremidades ligar, a da fonte ou a da carga, também tem sido objeto de discussões intermináveis.

No trabalho Energia, Ruído e Aterramento, encarte da Revista Música e Tecnologia, em sua 38ª edição, minha recomendação era para que a blindagem fosse ligada apenas do lado da fonte. Como aquele era um espaço limitado, fico contente que, agora, podemos discutir esse tópico um pouco mais detalhadamente. Através dessa discussão tenho a oportunidade de expor as razões que me levaram a fazer aquela recomendação.

Atenção para a figura 8.9.

Quando a blindagem é ligada somente do lado da carga, formam-se dois filtros passa baixas. Eles resultam da combinação da impedância de saída da fonte com as capacitâncias parasíticas existentes entre a blindagem e cada um dos condutores do cabo de interligação.

Exceto se esses filtros forem exatamente idênticos, o que é virtualmente impossível, os ruídos de modo comum serão transformados em ruídos de modo diferencial, ao que se denomina conversão de modo comum para modo diferencial.

E então, os ruídos diferenciais serão aceitos e processados pela entrada balanceada.

Independentemente disso, o ideal é que as duas impedâncias de saída da fonte com as capacitâncias do cabo fossem exatamente iguais. O que é outra coisa virtualmente impossível.

A conversão de modo comum para modo diferencial tende a se agravar muito com cabos mais longos, e também, com os desbalanceamentos típicos das impedâncias de saída da fonte.

A figura 8.9 exhibe claramente como os ruídos de modo comum são filtrados pelos filtros passa baixas mencionados.

Os valores das capacitâncias indicadas são típicos para cabos tipo par torcido com blindagem, com comprimento de 30 metros.

Em razão de suas elevadíssimas impedâncias de saída de modo comum, as fontes ativas flutuantes são particularmente vulneráveis a esse mecanismo de conversão. Neste caso específico, resultados melhores são geralmente obtidos com a blindagem do cabo ligada apenas do lado da fonte.

Para que possamos trabalhar no sentido de evitar a conversão de modo comum para modo diferencial, convém lembrar que nosso ponto de referência é o terra da carga.

Se ligarmos a blindagem apenas no terra da fonte, como mostra a figura 8.10, a blindagem estará com a voltagem de modo comum, o mesmo acontecendo com as duas saídas da fonte.

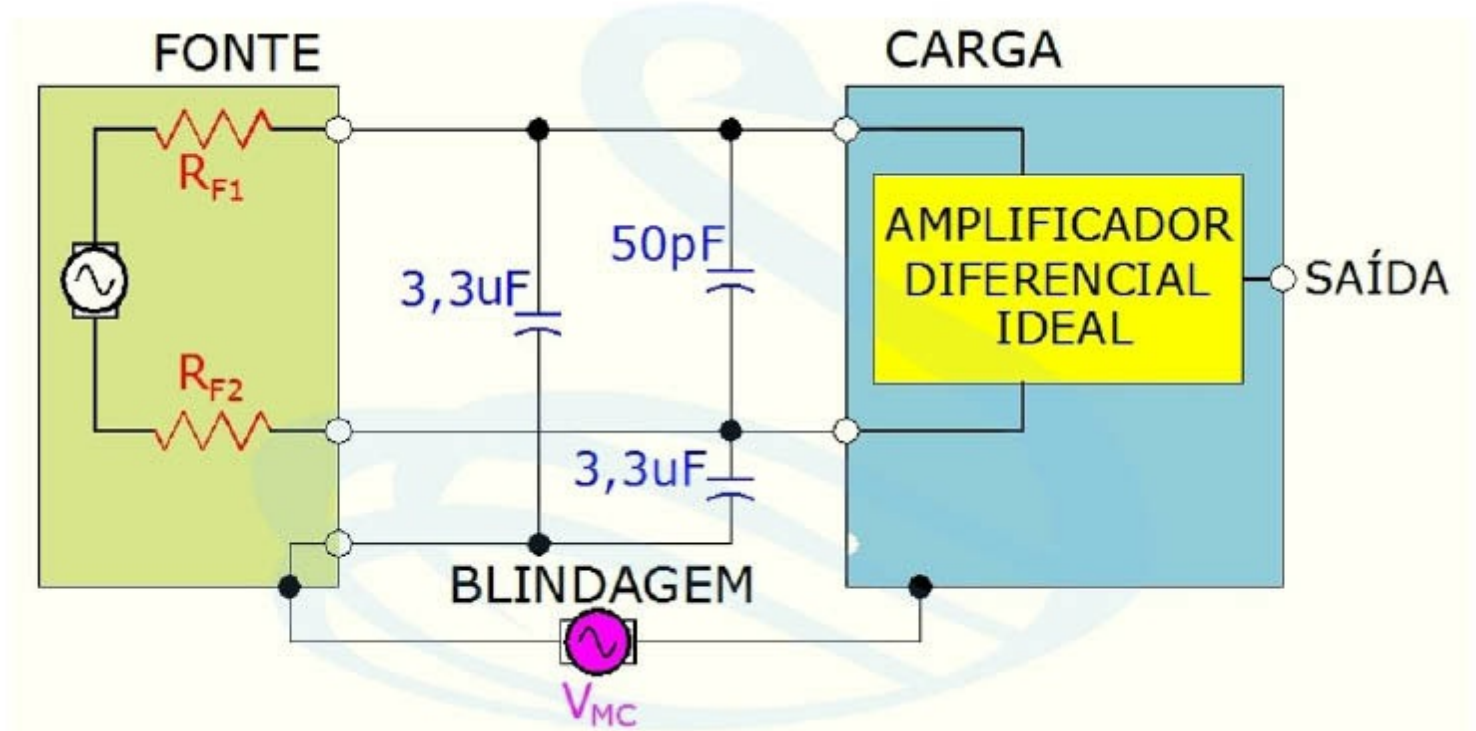


figura 8.10 blindagem ligada somente do lado da fonte, evitando voltagens de modo comum sobre as capacitâncias do cabo, e consequentemente, o efeito da formação de filtros acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Assim, não haverá voltagem de modo comum sobre as capacitâncias do cabo, nem serão mais formados filtros passa baixas.

Considerando-se a natureza das voltagens de modo comum nos condutores do cabo de interligação, as capacitâncias do cabo agora estão em paralelo com as impedâncias da fonte, o que virtualmente elimina os efeitos de prováveis desbalanceamentos das capacitâncias.

E assim, as ações nocivas dos mecanismos da conversão de modo comum para diferencial serão desarmadas.

A interpretação da regra SUE é, sem dúvida, uma parte do folclore que grassa pela indústria do áudio.

Veremos que, se por um lado sua aplicação é uma solução para alguns casos, hoje em dia pode-se afirmar que aplicar essa regra cega e indistintamente a todos os casos é apenas agir com falta de objetivo e de bom senso.

Sabe-se que a regra SUE remonta às primeiras instalações das emissoras de rádio e de TV, quando os equipamentos ainda eram valvulados, e as interligações feitas exclusivamente com impedâncias casadas de 600Ω .

Nas interligações de equipamentos com entradas e saídas balanceadas, esta regra tem sido aplicada nas últimas décadas como um meio defensivo, e até por falta de melhores opções. Principalmente como uma espécie de proteção contra os problemas dos equipamentos, nos quais os pinos 1 dos conectores XLR de 3 pinos não são imediatamente ligados às carcaças, mas antes à referência dos sinais de áudio. E por essa única e exclusiva razão, os ruídos

captados pelas blindagens vão parar exatamente onde não poderiam. Na referência dos sinais de áudio.

Entretanto, a aplicação da regra SUE deve ser feita sabendo-se que essa prática tende a aumentar muito as possibilidades de interferência de radiofrequência, uma vez que a função de antena das blindagens poderá se fazer sentir com mais intensidade.

Além disso, quando as blindagens são ligadas numa só de suas extremidades, o controle de campos magnéticos externos inexistente.

Vejamos essa colocação de um outro ponto de observação, analisando como as blindagens podem controlar campos magnéticos externos, dependendo de como são ligadas. Isto é, se com uma só ou com duas extremidades aterradas.

Uma vez que isto diz respeito muito de perto à aplicação da regra SUE, este é o momento mais oportuno para discutirmos o assunto. Vamos lá.

A expressão que nos permite calcular o campo magnético num condutor qualquer é

$$V = j \cdot \omega \cdot B \cdot A \cdot \cos\theta \quad (8.14)$$

Onde

- V é a voltagem induzida no condutor
- j é um operador matemático, que no momento nos é transparente,
- ω é $2\pi.f$, sendo f a frequência do ruído induzido,
- B é a densidade do fluxo magnético,
- A é área fechada determinada pelo perímetro do circuito fechado, como mostra a figura 8.11, e
- $\cos\theta$ é o ângulo com que o campo magnético incide sobre a área A

A maneira mais eficiente de obter proteção contra campos magnéticos é através da redução do termo A , que é a área formada pelo elo fechado no circuito receptor.

Agora, voltemos nossas atenções para a figura 8.11.

Ela nos mostra um gerador de voltagem V_G transferindo energia para uma carga, representada pela impedância Z_C .

O gerador e a carga estão ligados pelo condutor a e pela terra.

A corrente I_C que flui pelo circuito percorre o caminho indicado na figura com linha mais grossa. Seguindo pelo condutor a e retornando pela terra.

Desse modo, no caso desse particular circuito, nossa área A é aquela delimitada pelo contorno estabelecido pelo fluxo da corrente.

Fisicamente, é a área que aparece hachurada na figura.

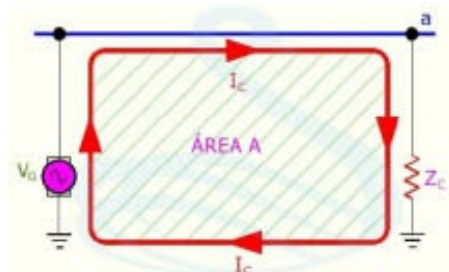


Figura 8.11 representação de aparelho fonte transferindo energia para o aparelho carga através de um condutor mais terra acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



Figura 8.12 circuito equivalente de uma simples blindagem de cabo de áudio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Antes de prosseguir com esta nossa análise, precisamos saber algo sobre uma das características fundamentais de qualquer blindagem de cabo elétrico de áudio.

O “circuito equivalente” de uma blindagem é o que mostra a figura 8.12.

A indutância L_S é a que existe em série com qualquer condutor elétrico.

A resistência R_S depende essencialmente de cada tipo e configuração de blindagem.

Os fabricantes mais competentes estarão em condições de informar estas especificações para cada um de seus produtos.

Mas o que é mais importante é que qualquer blindagem apresenta, como uma de suas características, uma frequência, denominada frequência de corte.

Na prática, essa frequência estabelece um limite bem definido.

Sinais com frequência inferior à frequência de corte são facilmente conduzidos pela blindagem.

Entretanto, quando a frequência do sinal atinge esse limite, a condução pela blindagem torna-se bastante difícil.

E o grau de dificuldade vai aumentando progressivamente com a frequência do sinal.

Por essa razão, quando existem caminhos alternativos de condução elétrica mais fácil do que o oferecido pela própria blindagem, eles são prontamente encontrados e seguidos pelos sinais com frequências superiores à frequência de corte. E as correspondentes correntes elétricas fluirão por esses caminhos, ao invés de fluir pela blindagem.

A frequência de corte pode ser calculada por:

$$R_{CORTE\ BLIND} = \frac{R_S}{2\pi L_S} \quad (8.15)$$

Isto posto, vejamos agora a figura 8.13.

Trata-se do mesmo arranjo da figura 8.11, porém, agora com a introdução da blindagem envolvendo o condutor **a**. A blindagem é designada **s**.

A figura mostra que a blindagem está aterrada numa só de suas duas extremidades. Por isso, ela não forma um circuito fechado. E assim, não pode haver fluxo de corrente elétrica por um circuito aberto.

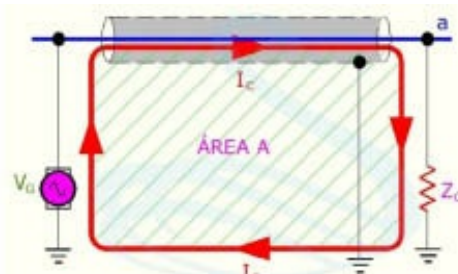


figura 8.13 representação de aparelho fonte transferindo energia para o aparelho carga através de um condutor envolvido por blindagem, mais terra. A blindagem está aterrada apenas de um lado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como resultado, a corrente I_c continua percorrendo o mesmo caminho que percorria na figura 8.11. Isto é, pelo condutor **a** com retorno via terra.

Consequentemente, a área **A** não sofre qualquer alteração. O que fica evidente se olharmos a área hachurada na figura.

Vejamos agora o mesmo arranjo da figura 8.13, porém, com a blindagem aterrada em suas duas extremidades. Como nos mostra a figura 8.14.

Nas condições desta figura, e ao contrário do que ocorria na figura 8.13, a blindagem agora forma um circuito fechado que **pode** ser percorrido por corrente elétrica. Esse circuito é formado por um dos aterramentos da blindagem, pela própria blindagem, pelo outro aterramento da blindagem, e pela terra. O emprego do termo “pode” deve-se ao fato que, se a frequência do ruído for inferior à frequência de corte da blindagem, então o provável caminho

será mesmo a blindagem. Do contrário, será como discutido anteriormente.

Quando consideramos que o caminho percorrido pela corrente elétrica é mesmo o que mostra a figura 8.14, vemos que a área **A** é praticamente reduzida a zero. A área hachurada da figura nos ajuda a visualizar a redução de **A**.

E agora já podemos tirar algumas conclusões.

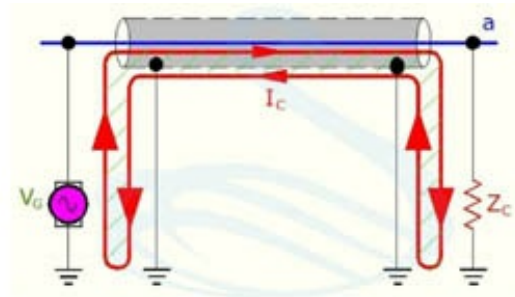


figura 8.14 representação de aparelho fonte transferindo energia para o aparelho carga através de um condutor envolvido por blindagem, mais terra. A blindagem está aterrada nas duas extremidades
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando utilizamos a regra SUE, ligando a blindagem apenas numa só de suas extremidades (qualquer delas), a imunidade oferecida pela blindagem contra campos magnéticos é nula. Que é o que dizíamos há pouco.

E quando a blindagem é ligada em suas duas extremidades, portanto sem utilização da regra SUE, poderá haver alguma imunização contra campos magnéticos externos, dependendo da frequência do ruído induzido e da frequência de corte da blindagem. Isto é, poderemos exercer algum controle contra campos magnéticos externos.

Na prática, dificilmente temos como antecipar com relativa precisão com que frequências de ruído estaremos nos defrontando.

Mas é fácil ver que quanto mais elevada for a frequência de corte da blindagem mais chances teremos de controlar eventuais problemas de campos magnéticos externos. Além disso, é sempre possível substituir cabos mais críticos por outros, com blindagens providas de melhores características de frequência de corte.

Assim, essa característica da blindagem é outro fator importante a ser levado em conta quando da seleção e escolha de cabos com blindagem.

8.3.2 Interligações Balanceadas As possibilidades de ligar as blindagens nas interligações totalmente balanceadas são ilustradas na figura 8.15.

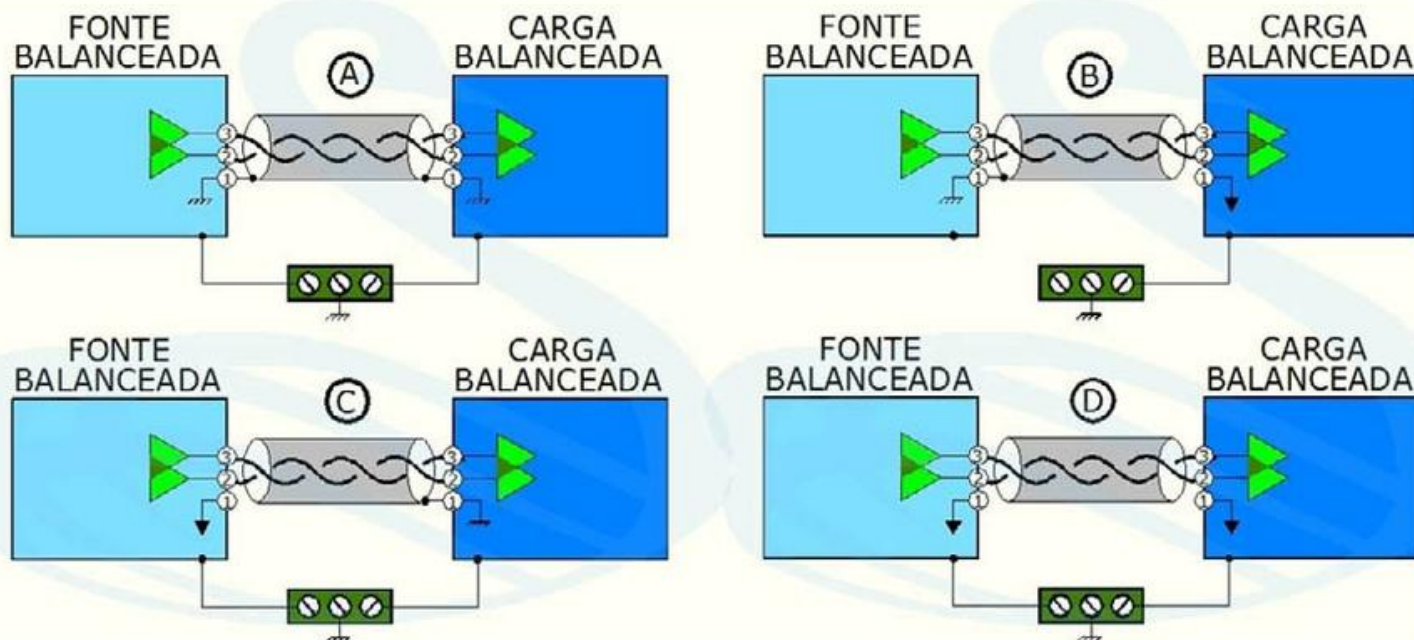


figura 8.15 interligações balanceadas e diferentes alternativas de ligação da blindagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 8.15.A, a blindagem é ligada nas carcaças metálicas dos aparelhos, junto aos pontos de entrada (o que caracteriza aparelhos isentos de problema de pino 1). Sem dúvida, esta forma de interligação é a que produz o melhor desempenho quanto a ruídos.

Numa interligação totalmente balanceada, como a desta figura, percebe-se que a blindagem do cabo não é utilizada para transportar sinais de áudio de um ponto para outro.

Por essa razão, quando um dos aparelhos apresenta problema de pino 1, e não há como extirpá-lo, a aplicação da regra SUE surge como a alternativa mais à mão.

As intermináveis discussões a que me referi antes, sobre qual a extremidade da blindagem que deve ser ligada, são alimentadas porque há uma corrente de técnicos que advoga suas causas com base em suas constatações práticas do dia a dia.

Eles defendem a aplicação da regra SUE, e recomendam a ligação apenas do lado do aparelho que não apresenta o problema do pino 1. Seja esse o lado da fonte ou o da carga.

Mas isso pressupõe que na interligação entre dois aparelhos, um deles seja portador do problema do pino 1, e o outro não.

Mas devemos reconhecer que, se o aparelho com o problema do pino 1 é a fonte, ligar a blindagem só do lado da carga de fato manterá as correntes induzidas na blindagem fora do terra da circuitação.

Em compensação, teremos nosso mecanismo de conversão de modo comum para modo diferencial de volta. Com todos os ônus que ele impõe.

As figuras 8.15.B e C mostram as alternativas de aplicação da regra SUE com as blindagens ligadas do lado da fonte e da carga, respectivamente.

Infelizmente, na maioria dos casos reais os dois aparelhos apresentam problema de pino 1.

Como não devemos trabalhar com a blindagem desligada nas duas extremidades, como mostra a figura 8.15.D (o que, longe de ser uma sugestão, aparece no desenho apenas para efeito de ilustração didática), devemos aplicar a regra SUE, com a blindagem ligada do lado

da fonte.

Reiterando exatamente o que recomendei no trabalho Energia, Aterramento e Ruídos.

Quando fiz tal recomendação, levei em conta que, no Brasil, na grande maioria dos casos de interligação entre dois aparelhos com entradas e saídas balanceadas, ambos apresentam o problema de pino 1. Pelo que tenho observado ao longo dos meus cerca de 35 anos de trabalho com áudio, arriscaria dizer que o percentual desses casos é superior a 95% de todos os casos. E cifra consideravelmente elevada também é constatada entre os aparelhos importados.

Isto posto, devemos ver como são aplicadas as técnicas para cada possível caso de interligação de saída balanceada para entrada balanceada, consideradas as configurações das entradas e das saídas dos aparelhos.

Uma vez que acabamos de ver os efeitos dos problemas do pino 1 nessas interligações, prosseguiremos nossa análise supondo que os aparelhos não sejam portadores do problema de pino 1.

8.3.2.1 Transformador para Transformador Essa interligação, ilustrada na figura 8.16, caracteriza-se por sua grande robustez, o que a torna praticamente à prova de erros de ligação.

Os transformadores são completamente isolados da terra, e propiciam excelentes balanceamentos.

Como resultado, sua capacidade de eliminar ruídos de terra é elevada.

Para aplicações especiais, como em casos de cabos que devem ser instalados externamente, os transformadores podem ser construídos com tap central.

Uma vez que esses taps tenham sido aterrados, as interligações passam a apresentar uma relativa proteção contra os efeitos de raios e de fenômenos atmosféricos.

Além disso, mesmo que um dos lados do enrolamento secundário do transformador de saída e/ou um dos lados do enrolamento primário do transformador de entrada venha a abrir (tornar-se rompido), a interligação continuará operacional.

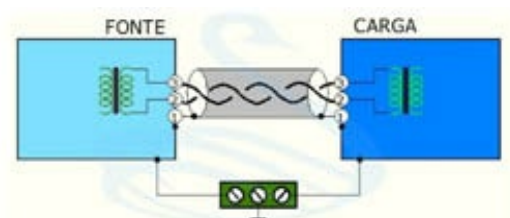


figura 8.16 interligação de saída balanceada a transformador para entrada balanceada a transformador
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Com um dos lados do secundário do transformador de saída aberto, há uma redução de 6,0 dB no nível do sinal da fonte.

Em ambientes com IEM muito agressiva, o transformador de entrada pode ser especialmente construído para oferecer controle superior de interferência, o que se consegue com as blindagens de Faraday.

Além de tudo isso, os transformadores podem trabalhar na presença de diferenças de potencial elétrico de terra de centenas de volts, sem quaisquer efeitos colaterais.

Mas para que a interligação entre aparelhos balanceados a transformador apresente bons resultados sônicos, os transformadores devem ser de boa qualidade, condição que os torna necessariamente caros. E muito.

Quando os transformadores não possuem taps centrais aterrados, não haverá mais transmissão de sinais se houver ruptura no secundário do transformador de saída e/ou no primário do de entrada.

Entretanto, essa possibilidade é altamente remota, pois como mencionei, este tipo de ligação é, sem dúvida, o mais robusto comparado com quaisquer outras formas de interligação.

Finalmente, os transformadores da fonte devem trabalhar sempre com cargas adequadas, o que pode requerer atenção especial.

8.3.2.2 Saída Eletronicamente Balanceada para Entrada Eletronicamente Balanceada Esta interconexão tem a aparência que nos mostra a figura 8.17.

Aqui, o ponto forte é o desempenho sônico, que é o melhor possível, superando quaisquer outras formas de interligação. Sem dúvida, seu custo é bem inferior ao das interligações balanceadas a transformador, o que faz delas as prediletas e as mais encontradas entre os aparelhos utilizados em áudio profissional.

Quando a saída é de baixa impedância, o que, como vimos, se torna mais comum a cada dia, não só o controle da IEM é muito bom, mas também, a capacidade de operar linhas com cargas constituídas por diversos aparelhos ligados em paralelo é elevada.

Para a maioria das arquiteturas de circuito, mesmo que um dos lados da carga ou da fonte venha a ser aberto, ou mesmo curto-circuitado para a terra, a transmissão de sinais continuará operacional.

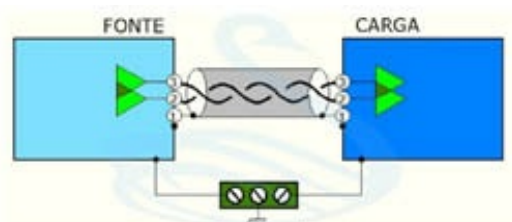


figura 8.17 interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletronicamente balanceada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Elevados níveis de Rejeição de Modo Comum (RRMC) podem ser obtidos com as configurações de amplificador diferencial ativo padrão instrumentação.

O que também é caro, e por essa específica razão, pouco comum entre os aparelhos mais utilizados em áudio profissional.

Como os circuitos ativos não são totalmente isolados da terra, esta forma de interligação é

mais susceptível à captação de ruídos de terra do que as que só utilizam transformadores.

Isso definitivamente impõe algumas restrições quanto à sua aplicação nos circuitos eletrônicos. Um exemplo claro disso é quando o aterramento não apresenta condições técnicas excelentes.

Situações nas quais o sistema de áudio e outros sistemas técnicos compartilham o mesmo sistema de energia é outro exemplo que justifica o emprego das formas empregando exclusivamente transformadores.

É precisamente por esse motivo que muitos aparelhos equipados com entradas e saídas eletronicamente balanceadas oferecem, como opção, a alternativa de balanceamento a transformador. Claro, com a diferença de preço determinada pelo valor adicional dos transformadores.

De modo geral, as arquiteturas de circuitação das entradas e saídas eletronicamente balanceadas mais comuns não apresentam boas características de RRMC em condições reais de uso.

De fato, ao contrário das interconexões a transformador, nestas, as figuras de RRMC não são muito consistentes ao longo do espectro das frequências de áudio.

Outro fato a levar em conta é que a RRMC das circuitações eletrônicas é bastante afetada por desbalanceamentos das linhas e das próprias cargas.

Além disso, a maioria das saídas dos aparelhos hoje existentes ainda é de impedância algo elevada. O mesmo acontecendo com uma parte significativa dos aparelhos em produção.

Essa dupla combinação faz com que a interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletronicamente balanceada ainda seja algo vulnerável à IEM.

8.3.2.3 Transformador para Entrada Eletronicamente Balanceada

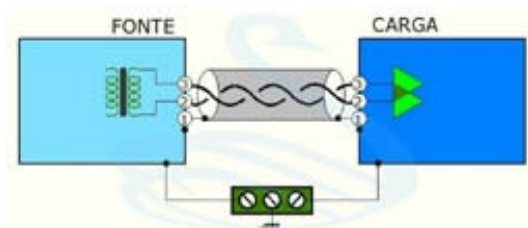


figura 8.18 interligação de saída balanceada a transformador para entrada eletronicamente balanceada
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 8.18 mostra esta forma de interligação.

O transformador da fonte pode ser facilmente desbalanceado, quando e se necessário.

Se a carga for uma configuração mais elaborada de circuitação, como o padrão de instrumentação, a RRMC tende a ser bastante elevada.

Em contrapartida, para que a qualidade sônica seja superior, é obrigatório que o transformador seja muito bem projetado e construído, e de qualidade superior. Consequentemente, caro.

Isso é particularmente aplicável aos casos de fontes de baixa impedância.

Além disso, as cargas para os transformadores devem ser sempre adequadas e bem dimensionadas. O que pode exigir terminações para os transformadores.

8.3.2.4 Saída Eletronicamente Balanceada para Transformador Essa interligação é ilustrada na figura 8.19.

Trata-se de uma combinação bastante interessante, que apresenta excelente resultado sônico em combinação com custo moderado, constituindo-se, ainda, numa boa opção diante de situações problemáticas de IEM.

Para maior controle ainda, o transformador pode ser equipado com uma blindagem de Faraday.

Para linhas excessivamente longas, ou cargas de baixas impedâncias, a fonte também deve ser de baixa impedância, o que ajuda muito no controle da IEM.

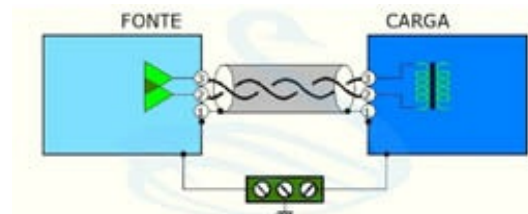


figura 8.19 interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada balanceada a transformador
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como desvantagens, pode-se mencionar que o transformador de carga é construtivamente mais caro do que as correspondentes entradas ativas, particularmente quando projetado para desempenho superior.

Ao contrário das saídas a transformador, que podem ser facilmente desbalanceadas, nas saídas eletrônicas o desbalanceamento geralmente é obtido às custas de perda de sinal de 6,0 dB.

Digo geralmente, porque isso não é aplicável às saídas flutuantes, que podem ser facilmente desbalanceadas sem qualquer perda de nível de sinal.

8.3.3 Interligações Mistas Qualquer interligação entre um aparelho balanceado e um não balanceado, ou vice-versa, é uma interligação mista. Evidentemente, essas não são interligações balanceadas.

Por isso mesmo, são fórmulas que **não produzem os mesmos resultados** que as interligações totalmente balanceadas.

É por essa razão que as interligações mistas não são recomendadas para sistemas profissionais.

É certo que entradas e saídas não balanceadas são muito mais baratas para fabricar, e evidentemente, mais fáceis de vender.

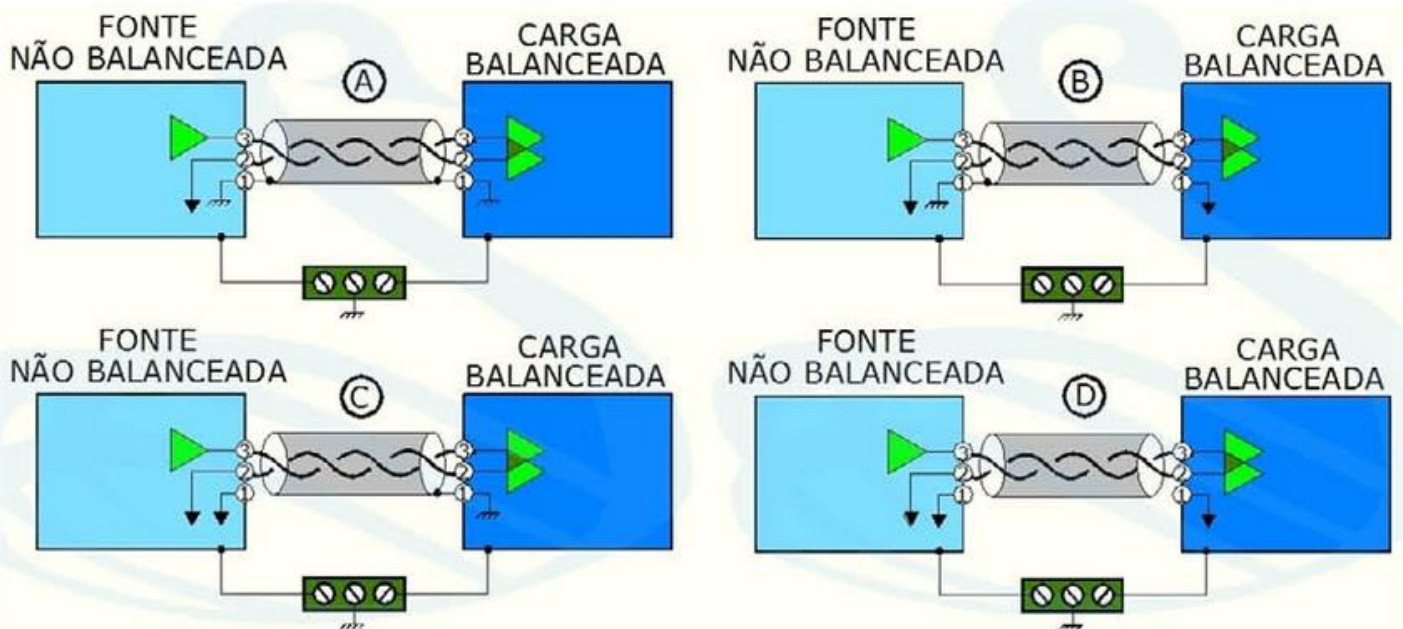


figura 8.20 interligações de saídas eletrônicas não balanceadas para entradas eletronicamente balanceadas, e diferentes alternativas de ligações da blindagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Contudo, costumam ser mais caras para instalar, especialmente quando se considera o tempo e o esforço despendido para resolver sequelas daí resultantes. Particularmente problemas de ruídos.

Nestas condições de interligação, tais problemas se revigoram bastante em comparação com quaisquer das formas de interligações totalmente balanceadas.

Como na figura 8.15, a figura 8.20 ilustra as possibilidades de ligar as blindagens, mas agora para o caso das interligações de saídas não balanceadas para entradas balanceadas.

Na figura 8.20.A, a interligação é feita com a blindagem ligada em suas duas extremidades.

O que é técnica recomendada sempre que os dois aparelhos não sejam portadores do problema do pino 1.

Muitos especialistas poderão argumentar que, desse modo, os ruídos induzidos nos condutores de sinal podem ser facilmente transferidos para a fonte através de seu estágio de saída não balanceado.

O que de fato é verdade. Pois em essência, essa é uma propriedade inerente à natureza da interligação, especialmente no que se refere ao circuito de saída da fonte.

Quando isso ocorre, desligar a blindagem do lado da fonte pode ajudar bastante.

Se apenas um dos aparelhos exibir o problema de pino 1, provavelmente nos veremos obrigados a desligar a blindagem de um dos lados.

A análise correspondente feita para os aparelhos balanceados não é mais verdadeira agora. Portanto, se tivermos que desligar um dos lados da blindagem, esse lado será mesmo o do aparelho com o problema de pino 1. E as ligações ficarão como nas figuras 8.20.B e C.

Quando os dois aparelhos exibirem o problema de pino 1, estaremos de fato diante de uma grande dificuldade.

A única alternativa é aplicar integralmente a regra SUE, experimentando o lado que apresenta o melhor resultado.

Mas não devemos nutrir expectativas desmesuradas. Poderemos não obter qualquer melhora.

Tal situação configura um caso em que devemos mudar de tática.

Por exemplo, resolvendo os problemas de pino 1 dos 2 aparelhos, ou ainda, substituir um ou ambos os aparelhos.

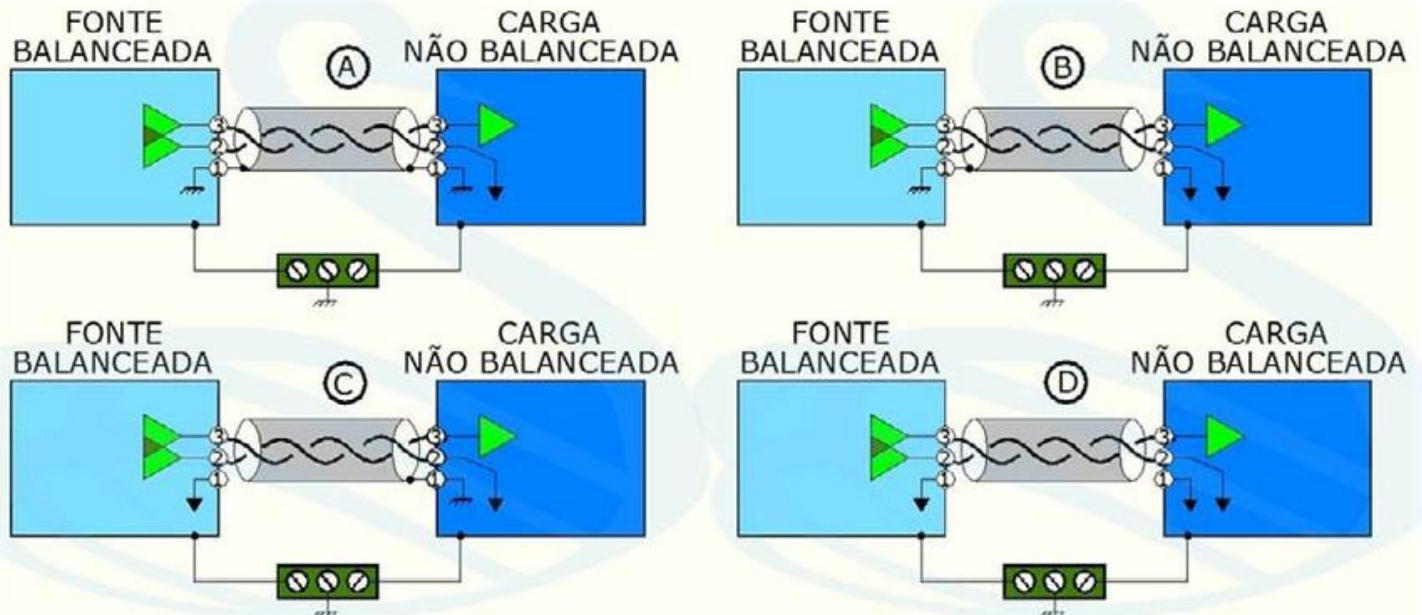


figura 8.21 interligações de saídas eletronicamente balanceadas para entradas eletrônicas não balanceadas, e diferentes alternativas de ligações da blindagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
A figura 8.21 reflete uma situação ainda pior que a anterior. Trata-se de uma saída eletronicamente balanceada ligada a uma entrada eletrônica não balanceada.

Com efeito, uma vez que a entrada não é balanceada, ruídos induzidos nos condutores de sinal do cabo não serão rejeitados.

Uma das maneiras de reduzir tal inconveniente é limitar o comprimento do cabo de interligação ao mínimo possível.

Se esse possível não for o suficiente para que os resultados passem a ser aceitáveis, uma das poucas alternativas que nos restará é deslocar os aparelhos, de modo a aproximá-los fisicamente com o único intuito de usar, agora sim, o cabo de interligação tão curto quanto desejável.

A figura 8.21.A mostra a blindagem ligada em suas duas extremidades.

O que pressupõe, naturalmente, que os dois aparelhos não devem ter problemas de pino 1.

Mesmo neste caso, quanto maior for a distância entre os dois aparelhos, maiores serão as chances de que as correntes de ruído na blindagem induzam voltagens de ruído nos condutores de sinal.

Assim, muitas destas interligações poderão exigir que a blindagem seja desligada numa extremidade.

Até porque, mesmo uma corrente muito débil fluindo pela blindagem pode ser algo demasiado exagerado para um estágio de entrada não balanceado.

Quando este for o caso, a solução será aplicar integralmente a regra SUE.

Quando um dos aparelhos apresentar problema de pino 1, a alternativa será desligar a blindagem nessa mesma extremidade.

Como mostram as figuras 8.21.B e 8.21.C.

E se os dois aparelhos apresentarem o problema de pino 1, e se não for possível resolver, a aplicação da regra SUE provavelmente será o melhor que pode ser feito. Mas na maioria dos casos esse melhor ainda estará bem longe do mínimo desejável.

Convém notar que em quaisquer das interligações ilustradas na figura 8.21, a saída negativa (anti-fase) de sinal do estágio balanceado de saída é ligado ao terra de sinal.

Muitas topologias de circuitos balanceados de saída tentarão operar nessas circunstâncias, mas às custas de enormes distorções, e ainda, com elevados riscos de autodestruição.

Já os circuitos flutuantes se comportarão como os transformadores, e não apresentarão problemas, de vez que são projetados para trabalhar inclusive nessas condições.

Vamos discutir a aplicação das técnicas de interligação para cada possível caso de interligação mista, também supondo que os aparelhos não sejam portadores de problemas de pino 1. E devemos ter em mente que, de modo geral, os equipamentos balanceados e não balanceados apresentam significativas diferenças de impedâncias e de níveis de sinal.

8.3.3.1 Saída Eletrônica Não Balanceada para Transformador A interligação é esquematizada na figura 8.22. A condição de não balanceamento implica em maior susceptibilidade à captação de ruídos.

O inconveniente é bastante agravado pelo fato de que as tipicamente altas impedâncias de saída dos estágios não balanceados são, por si só, muito propensas a captar ruídos em geral.

A isolamento para terra do transformador permite que a interligação seja feita sem elos de terra. O que pode ser uma vantagem.

Quando preciso, basta interromper o elo desligando-se a blindagem somente do lado da carga.

Além disso, os transformadores podem exibir elevadas RRM, e para maior controle da IEM, podem ser construídos com blindagens de Faraday.

Quando o transformador é desbalanceado, e referenciado ao terra da fonte, ao que se dá o nome de referenciamento posterior, o controle de ruídos de terra de modo comum, como os resultantes de diferenças de potencial de terra, é feito de maneira muito eficaz.

A rigor, esta é uma das técnicas muito empregada no controle da IEM.

De fato, as diferenças de potencial entre os terras dos dois aparelhos interligados são aplicadas no lado negativo da entrada balanceada, que assim as considera como sendo de

modo comum, tendendo a ignorá-las.

Uma vez que as saídas de inúmeros processadores de sinal não são balanceadas, o mesmo acontecendo com os inserts das consoles de mixagem, é provável que o caro leitor tenha chances de encontrar alguns desses casos, e testar na prática a técnica ora descrita.

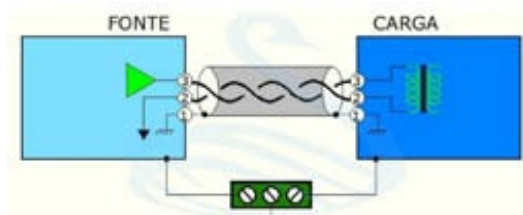


figura 8.22 interligação de saída eletrônica não balanceada para entrada balanceada a transformador
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 8.3.3.2 Saída Eletrônica Não Balanceada para Entrada Eletronicamente Balanceada A figura 8.23 mostra uma destas interligações.

A susceptibilidade à IEM continua sendo elevada, já que a linha não é balanceada.

A figura mostra que a técnica de referenciamento posterior também pode ser aplicada neste caso, bastando que se desfça a ligação da blindagem do lado da carga.

Não levando em conta a sempre presente possibilidade de captação de ruídos pelo cabo, o resultado sônico é bom, e o custo da interligação de moderado para baixo.

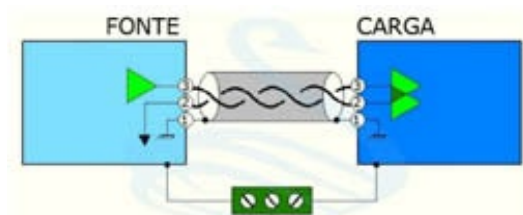


figura 8.23 interligação de saída eletrônica não balanceada para entrada eletronicamente balanceada
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 8.3.3.3 Transformador para Entrada Eletrônica Não Balanceada

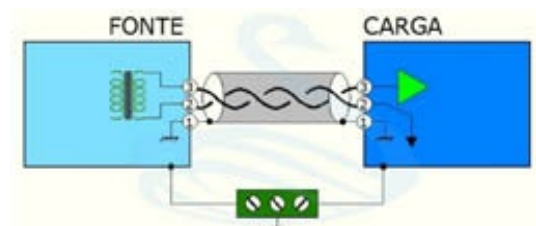


figura 8.24 interligação de saída balanceada a transformador para entrada eletrônica não balanceada
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esta interligação é o que nos mostra a figura 8.24.

A linha não balanceada continua criando elevada susceptibilidade à IEM.

O bom resultado sônico depende da qualidade e das características do transformador. Mas usar um transformador de preço elevado numa interligação não balanceada pode ser considerado por muitos um contrassenso.

Um dos problemas mais comuns que esse tipo de interligação apresenta é a chance muito pronunciada de saturação da entrada não balanceada. O que é uma decorrência direta dos elevados níveis de sinal produzidos pelos transformadores.

Vimos que os transformadores de saída devem trabalhar com cargas adequadas. Ou as penas possíveis são as fortes distorções e/ou alterações nas respostas de frequência.

Dada a provável diferença de impedâncias entre saída e entrada, ou se escolhe o transformador adequado para cada caso, ou se dá a terminação para o transformador, mediante aplicação de resistores.

As interligações não balanceadas não são adequadas para grandes distâncias. Por outro lado, como os transformadores são isolados da terra, o desbalanceamento pode ser feito sem elos de terra, bastando que se desfça a ligação da blindagem do lado da carga.

Por essa razão, há uma certa dificuldade de introdução de ruídos de terra neste tipo de ligação.

Quando o transformador é desprovido de tap central, o desbalanceamento é feito sem perda de sinal.

Quando existe tap central aterrado, então um dos lados do enrolamento deve ser abandonado, o que implica em perda de sinal de 6,0 dB.

8.3.3.4 Saída Eletronicamente Balanceada para Entrada Eletrônica Não Balanceada Esta é provavelmente a pior forma de interligação mista. Certamente é a que traz os maiores problemas nas etapas de projeto e de instalação. Motivos suficientes para que sejam evitadas a todo custo.

As figuras 8.25 a 8.29 mostram algumas maneiras possíveis de se fazer este tipo de interligação.

A seleção da maneira menos pior para cada caso deve ser feita principalmente com base na topologia de circuitação do aparelho fonte.

A figura 8.25 mostra uma carga não balanceada com conector de triplo contato. O primeiro desses contatos é para o condutor de sinal, o segundo para seu retorno, que é o terra de circuito, e finalmente, o terceiro contato que corresponde à carcaça.

Na figura, a blindagem aparece aterrada às carcaças metálicas nas duas extremidades.

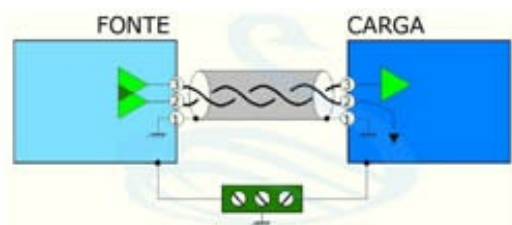


figura 8.25 interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com o terminal negativo da fonte aterrado do lado da carga acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 8.26, o terminal negativo da fonte é simplesmente abandonado. A blindagem não é ligada do lado da carga.

Para casos de fonte flutuante, esta é a primeira opção. Que entretanto, dificilmente apresentará bons resultados diante de aterramentos contaminados por ruídos.

A figura 8.27 exhibe uma ligação com o terminal negativo da fonte aterrado, ainda no lado da fonte.

Vale observar que não há elos de terra.

Embora esta possa ser uma boa técnica para fontes flutuantes, como no caso anterior, diante de aterramentos contaminados por ruídos, bons resultados serão praticamente impossíveis.

Além disso, se a saída é de baixa impedância, podem haver correntes relativamente elevadas para a terra. Particularmente se a circuitação não tiver suficiente proteção contra curtos.

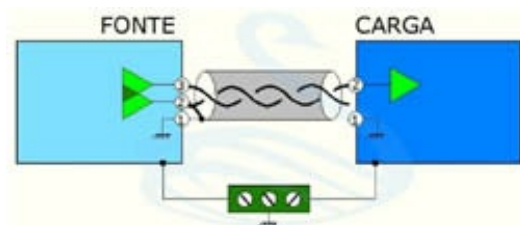


figura 8.26 interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com o terminal negativo da fonte abandonado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

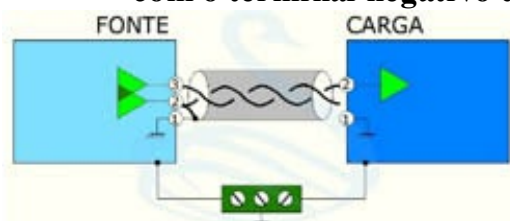


figura 8.27 interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com o terminal negativo da fonte aterrado do lado da fonte acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

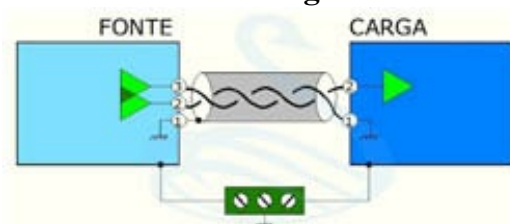


figura 8.28 interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com o terminal negativo da fonte aterrado do lado da carga acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

Tão maiores quanto menores forem estas impedâncias. E nessas condições, a integridade da fonte dependerá exclusivamente de sua própria capacidade de suportar correntes elevadas. O risco existirá sempre.

A figura 8.28 mostra uma situação na qual o terminal negativo da fonte é aterrado do lado da carga.

O que não é recomendado porque os ruídos são introduzidos no sistema de aterramento que serve ao sistema de áudio, podendo comprometer todos os demais aparelhos que se valem dele.

Essa possibilidade aumenta consideravelmente quando o terminal negativo da fonte, curto-circuitado, gera sinais distorcidos por clipamento.

Vimos que desbalancear uma saída eletrônica curto-circuitando seu terminal negativo para terra pode introduzir distorções.

Isto acontece porque, como visto pelo terra, há uma impedância que resulta da corrente de retorno via terra.

É precisamente por esse motivo que o aterramento do terminal negativo da saída

balanceada é preferencialmente feito junto à própria fonte. Porque este é o caminho de menor resistência.

Mas há um efeito colateral. A criação de um elo de terra.

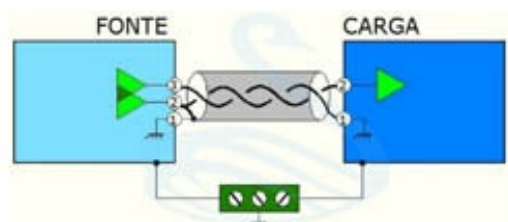


figura 8.29 interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com o terminal negativo da fonte aterrado dos dois lados acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 8.29 o terminal negativo da fonte é aterrado tanto no lado da fonte quanto do da carga. Nota-se a introdução do elo de terra.

8.3.3.5 Comentários e Alternativas As figuras 8.26 e 8.27 mostram uma situação na qual o retorno do sinal desbalanceado é feito através do próprio aterramento.

O que, de fato, pode introduzir ruídos.

Surge então a pergunta: não seria melhor se tivéssemos um condutor, que não o de aterramento, para o retorno dos sinais?

É claro que estando os dois aparelhos referenciados à terra, isso seria um elo de terra.

O que também pode apresentar ruídos audíveis.

Logo, podemos concluir que nenhuma destas alternativas é boa. Há riscos implícitos em ambas.

Até pouco tempo atrás, baseados em suas próprias experiências, os profissionais mais experientes vinham preferindo sistematicamente a opção de não ter o elo de terra.

Isto é, o retorno do sinal vinha sendo feito pelo aterramento.

Há uma explicação técnica que suporta essa preferência. Imagine uma fonte com impedância de 600Ω , e capacidade de sinal de 8,0 volts. A corrente máxima para a terra será então de 27 mA ($8\text{ V}/300\Omega$), o que é um valor relativamente baixo. Entretanto, para impedâncias inferiores, o valor de corrente pode aumentar bastante.

Não se pode esquecer que praticamente toda a experiência desses profissionais foi desenvolvida com aparelhos portadores de problemas de pino 1.

E hoje, é geralmente aceito que quaisquer aparelhos sem problema de pino 1 trabalham muito melhor com elos de terra do que aqueles com esse problema. Essa aceitação decorre de experiências práticas feitas em campo.

Desconsiderados os muito problemas que lhe são peculiares, as interligações mistas de saídas eletronicamente balanceadas para entradas eletrônicas não balanceadas tendem a apresentar bons resultados sônicos, uma vez que se usa apenas eletrônica.

Há métodos especiais empregados para minorar os problemas das interligações mistas.

A primeira delas é utilizar o dispositivo chamado interface profissional, ou IP, já analisado no capítulo 4.

Esta é possivelmente a mais eficaz das técnicas utilizadas para contornar os grandes inconvenientes resultantes do emprego de aparelhos não balanceados.

E é também a que oferece os melhores resultados possíveis.

Para todos os efeitos, o dispositivo torna balanceadas as entradas e saídas não balanceadas, adapta muito bem todos os valores de impedância, além de compatibilizar os níveis dos sinais, geralmente muito inferiores nos equipamentos não balanceados.

A desvantagem dessa técnica é o preço relativamente elevado dos IPs.

Para quem se interessar por esses produtos, sugiro um contato com a Audio Technologies Inc., dos Estados Unidos, telefone 001 (215) 443.0330.

Os modelos mais comercializados são o UB400, o BU400 e o BI100.

A segunda alternativa é empregar transformadores capazes de balancear as linhas não balanceadas.

É o que mostra a figura 8.30.

Mas esses transformadores não são capazes de superar completamente as diferenças de impedâncias e de níveis dos sinais. Tipicamente são transformadores com um enrolamento primário e outro secundário.

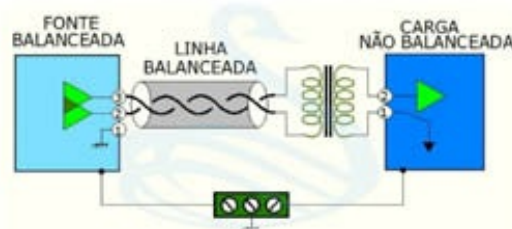


figura 8.30 transformador utilizado para balancear uma ligação mista acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Embora haja outras alternativas, praticamente todos os especialistas do mundo consideram que essas duas que discutimos são as melhores.

Outros especialistas julgam que a única alternativa é o emprego dos transformadores de balanceamento.

8.3.4 Interligações Não Balanceadas

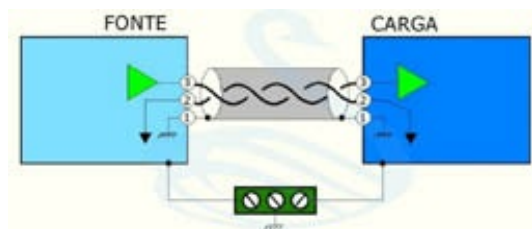


figura 8.31 interligação de saída eletrônica não balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com os dois aparelhos possuindo terminais terra de carcaça acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 8.31 a 8.34 mostram maneiras diferentes de interligar dois aparelhos não balanceados, ainda com cabo tipo par torcido e blindagem.

Na figura 8.31, os dois aparelhos possuem conectores de triplo contato.

A interligação da figura 8.32 é a que mais se encontra em sistemas já instalados.

Seu maior inconveniente é o elo de terra, cujo efeito não é tão notável em aparelhos que não sofrem do problema do pino 1.

Mas observem que, não sendo a ligação balanceada, a susceptibilidade para ruídos continua sendo elevada.

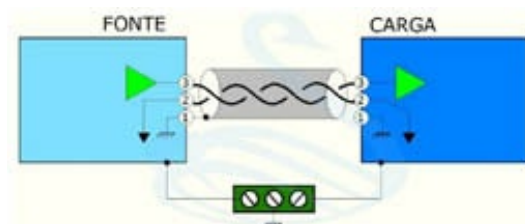


figura 8.32 interligação de saída eletrônica não balanceada para entrada eletrônica não balanceada. Os dois aparelhos possuem terminais terra de carcaça, e a blindagem só é ligada do lado da fonte acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 8.33 mostra uma maneira de evitar o elo de terra. Neste caso, o retorno é feito através do aterramento.

Outra maneira de evitar o elo de terra é fazendo a interligação ilustrada na figura 8.34.

Como sabemos, essa maneira não se coaduna com as boas práticas de engenharia, e sua finalidade neste trabalho é apenas ilustrativa. Seu emprego não só é não recomendado, mas também é proibido por vários códigos de segurança em todo o mundo.

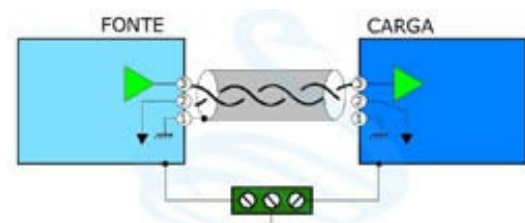


figura 8.33 interligação de saída eletrônica não balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com o terminal negativo da fonte abandonado e a blindagem só é ligada do lado da fonte acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

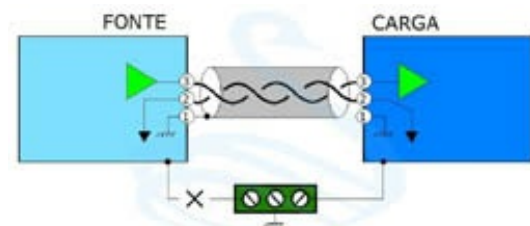


figura 8.34 interligação de saída eletrônica não balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com a carcaça da fonte não aterrada para evitar o elo de terra acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As alternativas de emprego de interfaces profissionais e de transformadores de balanceamento também são aplicáveis às interligações totalmente não balanceadas.

Mas certamente isso só deve constituir interesse acadêmico, de vez que, se empregados dessa forma, os interfaces profissionais e os transformadores devem ser duplicados.

Os preços também seriam tão elevados que provavelmente seria bem mais barato substituir os aparelhos não profissionais por outros, com entradas e saídas balanceadas. O que, sem dúvida, constituiria uma solução definitiva.

8.4 AS INTERLIGAÇÕES QUANTO ÀS IMPEDÂNCIAS

Do ponto de vista de transferência de sinal, o objetivo moderno numa interligação entre dois aparelhos de áudio é obter a máxima transferência de voltagem, **e não de potência**.

Para que isso possa ocorrer de maneira tecnicamente correta, as saídas (fontes) dos aparelhos **devem** ter baixas impedâncias diferenciais de saída, e as entradas (cargas), altas impedâncias diferenciais de entrada.

Os correspondentes detalhes são objeto de uma Prática do IEC, de 1978, sugerindo impedâncias de saída diferenciais de no máximo 50Ω , e impedâncias diferenciais de entrada de $10\text{ K}\Omega$, ou superiores, valores esses entendidos para sinais a nível de linha.

8.4.1 Interligações Não Terminadas A figura 8.35 ilustra uma interligação não terminada, como estabelece o jargão do áudio.

A figura é bem sugestiva quanto ao nome da interligação.

Para o caso desse exemplo, escolhi uma voltagem da fonte de $V_F = 0,775$ volts, e impedância de fonte $Z_F = 600\Omega$. Como a carga não é ligada na fonte, não há circulação de corrente.

E conseqüentemente, a voltagem de saída são os exatos $0,775$ volts gerados pela fonte, ou se preferirem, 0 dBv .



figura 8.35 modelo da interligação não terminada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 8.4.2 Interligações com Impedâncias Casadas



figura 8.36 modelo da interligação com impedâncias casadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O arranjo é o da figura 8.36. $V_F = 0,775$ volts, e $Z_F = Z_C = 600\Omega$.

Este é precisamente o caso de máxima transferência de potência da fonte para a carga, como vimos anteriormente.

Neste ponto, para que não existam mais quaisquer dúvidas sobre uma questão que vejo muito polêmica, confesso, até sem entender bem porque, quero deixar bastante claro que **usar fontes e cargas balanceadas e casadas em 600Ω em áudio profissional é desnecessário, e pode até mesmo comprometer o desempenho das interligações.**

8.4.3 Interligações Subterminadas Interligações subterminadas acontecem quando uma saída (fonte) é obrigada a trabalhar com várias entradas (cargas) ligadas em paralelo, de forma tal

que a impedância de entrada resultante seja inferior à impedância de saída da própria fonte.

Como no arranjo da figura 8.37.

A interligação ainda é considerada subterminada mesmo quando existe uma só entrada (carga), cuja impedância é inferior à impedância da saída (fonte).

Qualquer situação de interligação subterminada é extremamente problemática, uma vez que a fonte pode ser exigida a ponto de fornecer mais corrente elétrica do que seu limite possível.

O que caracteriza uma situação de colapso. Infelizmente, esse quadro ultrapassa as dimensões da teoria, e costuma ocorrer com relativa frequência na prática.

Há soluções clássicas para contornar o problema.

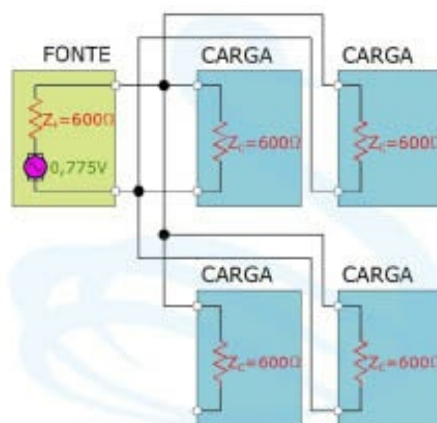


figura 8.37 modelo da interligação subterminada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Aprimeira é usar amplificadores distribuidores.

Que nada mais são do que dispositivos com uma ou mais entradas, e tantas saídas isoladas quantas possamos desejar.

A saída da fonte é então ligada à uma das entradas do amplificador distribuidor, e dessa forma estará corretamente terminada.

As saídas do amplificador distribuidor se transformam em fontes secundárias, que servem para alimentar as cargas, antes em paralelo. Uma das principais vantagens do amplificador distribuidor é exatamente a excelente isolação entre suas saídas.

A segunda solução clássica é usar redes resistivas, calculadas para adequar as impedâncias, como enxergadas tanto pela fonte quanto pelas cargas.

Entretanto, só recomendo o emprego destas duas soluções, especialmente as redes resistivas, quando de fato não houver outras alternativas.

8.4.4 Sistema Bridged ou Casamento de Voltagem Quando o assunto é interligação entre dois equipamentos de áudio, todas as correntes de pensamento do áudio moderno convergem para um único ponto.

As impedâncias das fontes devem ser muito baixas, da ordem de 50Ω , ou menos ainda, e as impedâncias das cargas devem ser bastante elevadas, iguais ou superiores a $10K\Omega$.

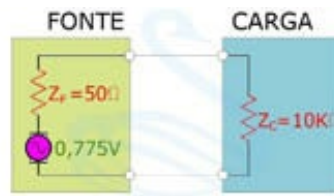


figura 8.38 modelo da interligação do sistema bridged acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Embora essa seja uma tendência atual, faço questão de insistir que o IEC vem recomendando exatamente isso mesmo há quase vinte anos.

O arranjo é o que mostra a figura 8.38.

Numa interligação assim, embora a transferência de potência da fonte para a carga seja uma parcela ínfima do total produzido pela fonte, a voltagem sobre a carga é praticamente igual à gerada pela fonte.

Precisamente o que se deseja.

Para que uma interligação entre dois aparelhos possa ser classificada como bridged, o valor da impedância da fonte deve ser igual ou inferior a 10% da impedância da carga.

Mas valores $Z_F \leq 50\Omega$ e $Z_C \geq 10k\Omega$ se tornam mais comuns e mais utilizados a cada dia.

Um exemplo disso são os microfones de baixa ou de alta impedância, que não devem ter suas impedância casadas com as dos prês aos quais são ligados.

A impedância de saída típica dos microfones profissionais, que são sempre de baixa impedância, é da ordem de 150 a 200 ohms. E a impedância de entrada dos prês para esses microfones está geralmente entre 1.000 e 2.000 ohms. Os microfones de alta impedância, cujos valores nominais de impedância estão entre 10.000 e 40.000 ohms, não podem ser ligadas nas entradas para microfones de baixa impedância, mas apenas nas suas próprias entradas.

Quando as saídas de um aparelho são ligadas às entradas do aparelho seguinte de uma sequência, é absolutamente importante que o segundo seja a “impedância de carga” recomendada pelo fabricante do primeiro. Podemos dizer que impedância de carga é o valor que qualquer aparelho “enxerga” quando “olha” para o próximo aparelho ou circuito que vai alimentar. Geralmente os fabricantes especificam um valor mínimo de impedância de carga.

Nessas circunstâncias, é óbvio que a impedância de entrada não deve ser inferior ao mínimo especificado.

Há um razoável elenco de vantagens intrínsecas que essa forma de interligar aparelhos proporciona. Elas podem ser alinhadas como segue:

- menos distorção no sinal de saída da fonte em razão das menores correntes elétricas exigidas
- várias cargas podem ser alimentadas em paralelo por uma única fonte, sem necessidade de amplificadores distribuidores e sem preocupações com ajustes de impedâncias ou alterações de níveis
- para uma dada atenuação em altas frequências, podem ser feitas interligações entre aparelhos situados a distâncias consideravelmente superiores a quaisquer outras formas de interligação, inclusive interligações com impedâncias casadas de 600Ω.
- maior confiabilidade em razão da menor produção de calor, o que decorre diretamente das menores exigências de corrente elétrica
- na eventualidade de ser ligada uma carga de 600Ω, a voltagem sobre ela cairá em apenas $20 \log [Z_c / (Z_f + Z_c)] = 20 \log (600/650) = -0,7 \text{ dB}$
- em comparação com as fontes de muito baixa impedância, as fontes com impedância de 600Ω, ou superiores, impõem perdas de voltagem de aproximadamente 6,0 dB. Assim, de forma recíproca, esse é o ganho do sistema bridged, que acaba por se traduzir numa correspondente melhora da gama dinâmica do aparelho, uma vez que maiores excursões são possíveis
- em comparação com outras formas de interligação, as baixas impedâncias das fontes no sistema bridged propiciam uma expressiva redução de captação de ruídos via cabos de interligação, que em muitos casos pode chegar aos 14,0 dB!
- as menores correntes que fluem pelo circuito fonte carga reduzem o acoplamento indutivo e a diafonia entre os condutores dos cabos de interligação

8.4.5 A influência das Impedâncias dos Cabos de Interligação Qualquer cabo formado por dois ou mais condutores isolados entre si apresenta uma certa capacitância entre os condutores. Além disso, cada condutor possui uma dada indutância, que aparece em série com o condutor. E para terminar, cada condutor exibe sua própria resistência CC. Tão mais elevada quanto menor é a bitola, e maior o comprimento do cabo.

A figura 8.39, que representa um cabo com dois condutores interligando dois aparelhos, ilustra o que acabamos de dizer. Mostrando também que qualquer cabo é, em essência, um filtro passa baixas de segunda ordem.



figura 8.39 modelo de cabo interligando dois aparelhos, com sua capacitância, indutância e resistência CC

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os elementos capacitivos, indutivos e resistivos do cabo se combinam para determinar sua impedância característica.

A maioria dos cabos utilizados nas interligações entre aparelhos de áudio profissional são do tipo par torcido com blindagem. Usados nas ligações dos microfones ou entre aparelhos, a

maioria deles tem impedância característica entre 50 e 100Ω.

Naturalmente, quanto maior é o comprimento do cabo utilizado na interligação, maior é o efeito do filtro passa baixas, e maior a degradação do sinal. Entretanto, para lances de comprimentos habituais, essa degradação de sinal só incomodará aos mais exigentes audiófilos, daqueles dispostos a gastar muitos milhares de dólares com poucos metros de cabos especiais, aparentemente milagrosos. Estamos falando de degradações e melhoras microscópicas.

Com relação à impedância característica dos cabos, também não temos com o que nos preocupar até que os comprimentos sejam realmente muito elevados. Isso porque, a partir de um dado comprimento, os cabos começam a apresentar comportamento de linhas de transmissão.

O principal sintoma de um cabo sofrendo os efeitos das linhas de transmissão é uma degradação do sinal, mas agora, de proporções devastadoras. Isso ocorre porque, ao atingir a extremidade final do cabo, parte do sinal é refletida de volta pela linha, provocando ondas estacionárias.

O fenômeno é muito semelhante ao fenômeno acústico que acontece com os sons percorrendo um tubo, como vimos no item 3.16.1 do capítulo 3, onde inclusive chegamos a empregar o termo ondas estacionárias. Se naquele caso uma das extremidades do tubo fosse totalmente absorvente, não haveria reflexões do som. E quando as superfícies são acusticamente reflexivas, temos a formação de ondas estacionárias.

Transpondo esse fenômeno da dimensão acústica para a elétrica, as coisas ocorrem de modo muito semelhante. Quando os cabos são relativamente curtos, os sinais são totalmente “absorvidos” pela carga. Mas quando o cabo passa a se comportar como uma linha de transmissão, há reflexões e formação das ondas estacionárias, agora elétricas.

Assim como tínhamos os coeficientes médios de absorção no caso da acústica, no caso das linhas de transmissão temos o coeficiente de reflexão (k). E também, a Relação de Ondas Estacionárias (ROE).

De acordo com inúmeros autores mundialmente respeitados, os efeitos das linhas de transmissão começam a se manifestar quando o comprimento físico do cabo se aproxima de um décimo do comprimento de onda do sinal que o percorre.

Medições criteriosas indicam que a velocidade de propagação dos sinais nos cabos de áudio mais utilizados é da ordem de 65% da velocidade da luz. Ou seja, cerca de 195.000.000 metros/segundo.

Se considerarmos um sinal com frequência de 20 kHz podemos calcular o correspondente comprimento de onda

$$\lambda = \frac{195.000.000}{20.000} = 9.750 \text{ metros}$$

Dessa forma, só precisamos nos preocupar com as impedâncias características dos cabos quando nossas interligações tiverem comprimentos iguais ou superiores a 950 metros.

E não se alarmem. As linhas de transmissão e seus efeitos, muito raras no áudio profissional, não são um problema em si. De fato, uma coisa e termos que nos preocupar com algo, outro, que isso seja um problema.

De qualquer forma, as linhas de transmissão exigem um tratamento técnico correto. Que é terminar a linha com sua própria impedância característica. Em termos práticos, isso apenas significa que devemos ligar um resistor com mesmo valor que a impedância característica entre os condutores da linha, exatamente onde ela termina.

Daí o termo terminação da linha.

8.5 AS INTERLIGAÇÕES QUANTO ÀS TOPOLOGIAS DOS APARELHOS

Qualquer profissional de áudio que já tenha instalado alguns sistemas de sonorização semelhantes, certamente dirá que todos sistemas possuem algumas coisas em comum. Esses profissionais não hesitarão em apontar que as interligações entre os aparelhos constituem um exemplo eloquente disso.

Se pararmos um só minuto para pensar nisso, poderemos tirar conclusões.

Por exemplo, independentemente de sistemas, as interligações balanceadas entre dois aparelhos quaisquer são de fato bastante semelhantes.

Logo, não poderíamos discordar cabalmente do ponto de vista desses profissionais.

Em todos os projetos bem elaborados, as interligações são previstas de tal modo que sua qualidade também depende de critérios consagrados, que assim acabam por se tornar aspectos comuns.

Entre estes, os seguintes podem ser mencionados

- seleção criteriosa dos cabos mais adequados para cada particular situação
- utilização dos melhores conectores que é possível adquirir
- esmero havido com os serviços de cabo, e técnicas de soldagem
- escolha do caminhamento mais racional que os cabos devem seguir, sobretudo no que se refere às distâncias mantidas entre cabos portadores de diferentes níveis de sinais
- cuidados havidos com inúmeros detalhes, a exemplo dos trechos de cabos que se deixa sem a proteção da blindagem, observação de raios mínimos de curvatura dos cabos, e dos alívios mecânicos obtidos em cada terminal cabo-conector

Mas há um ponto em que todas as semelhanças terminam. E aí começam a surgir vários outros fatores que não são mais comuns de um para outro sistema.

Como as condições de IEM sobre as interligações, que tenderão a ser consideravelmente diferentes de caso a caso.

Entre todos estes fatores, há um deles com muito mais peso do que os demais. E que pode ser considerado como o mais importante deles, porque é realmente aquele que governa o desempenho global de qualquer interligação.

É algo que encontra-se no interior de cada aparelho interligado.

Estamos falando das topologias de suas circuitações de saída, e de entrada. Inclusive das características físicas peculiares de cada leiaute de circuito impresso.

Para compreender melhor o significado dessa colocação, a ordem do dia parece ser fazermos um estudo um pouco mais detalhado sobre os fundamentos dessas topologias. É o que segue.

8.5.1 Tipos de Cargas dos Aparelhos de Áudio As entradas dos aparelhos podem ser construídas com um dos dois tipos básicos de amplificadores diferenciais

- circuitos ativos
- transformadores

Os circuitos ativos efetuam subtrações algébricas dos dois sinais de entrada, e são construídos a partir de amplificadores operacionais, ou op amps, e de redes resistivas formadas apenas por resistores de precisão. Os transformadores são dispositivos diferenciais por excelência, e oferecem isolamento elétrica entre os sinais de entrada e de saída.

Do ponto de vista eletrônico, os amplificadores diferenciais ativos, às vezes chamados de entradas balanceadas ativas, podem ser configurados de diversas maneiras.

Do que resulta uma quantidade correspondente de variantes. Para efeito de nossa discussão, vamos considerar que os amplificadores operacionais, os resistores e as relações entre os resistores são as ideais.

Ao que vale dizer, vamos fazer nossas análises considerando que esses componentes não introduzam erros.

8.5.1.1 Amplificador Operacional Único A configuração elementar de amplificador operacional único assume a forma básica da figura 8.40. Trata-se do amplificador diferencial ativo mais simples que pode ser imaginado, projetado e construído.

Se de um lado seu preço é baixo, a contrapartida é a elevada susceptibilidade à IEM.

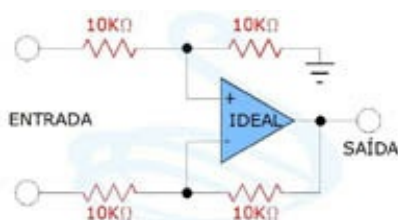


figura 8.40 entrada diferencial com amplificador operacional único acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
8.5.1.2 Amplificador Operacional Dual - Modo Corrente Também denominada entrada balanceada verdadeira, esta configuração, que já utiliza dois amplificadores operacionais, é representada na figura 8.41.

Sem dúvida, esta é mesmo uma grande evolução se comparada com a configuração anterior.

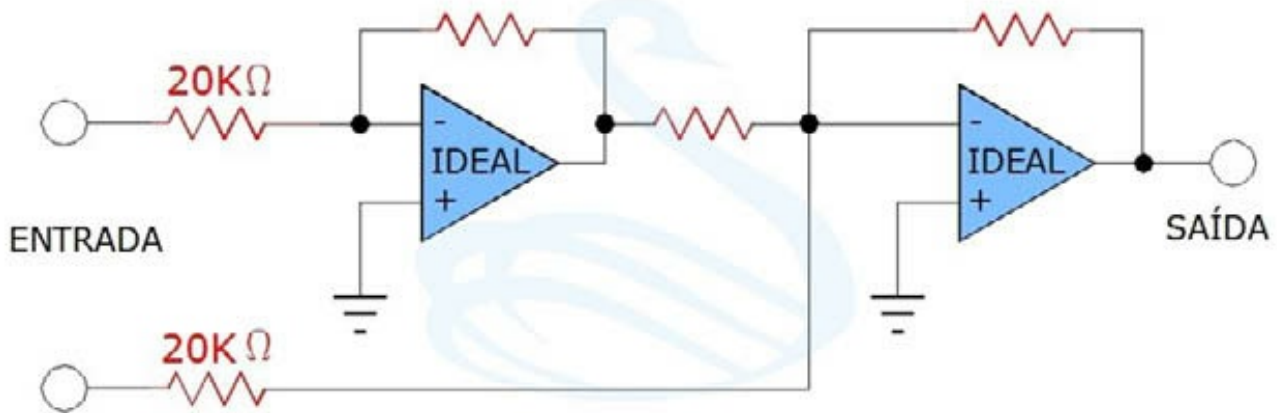


figura 8.41 entrada balanceada verdadeira - modo corrente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
8.5.1.3 Amplificador Operacional Dual - Modo Voltagem

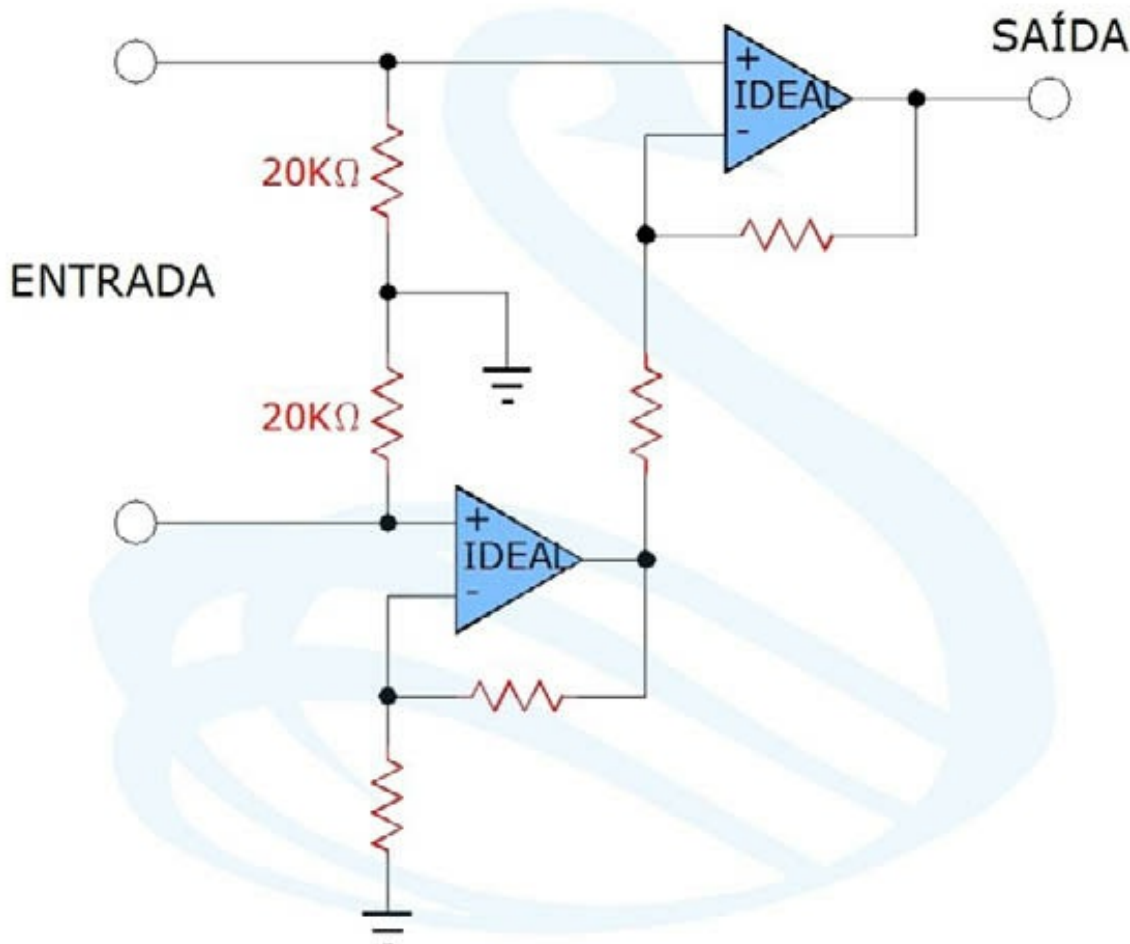


figura 8.42 entrada balanceada com duplo amplificador operacional - modo voltagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como mostra a figura 8.42, esta outra configuração que também utiliza dois amplificadores operacionais.

Trata-se de uma variante do caso anterior.

As vantagens dessa configuração em relação à configuração amplificador operacional único também são mantidas.

O desenho simplificado mostra que esta configuração implica em utilizar um componente a

mais do que a entrada balanceada verdadeira – modo corrente. Na prática, os componentes adicionais são realmente mais do que só um.

8.5.1.4 Amplificador Operacional Triplo

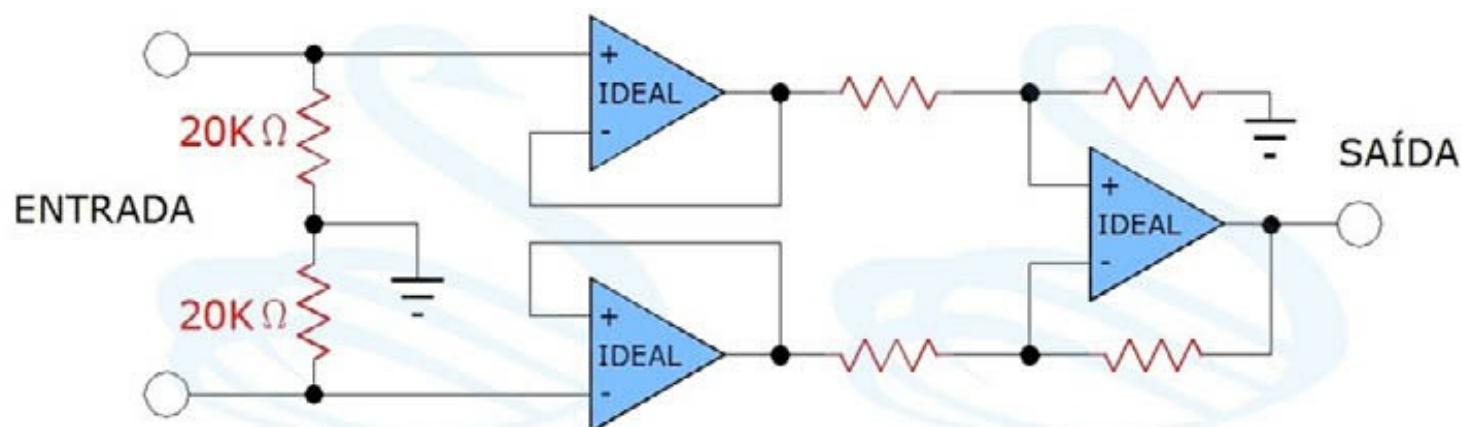


figura 8.43 entrada balanceada com amplificador operacional triplo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 8.43 ilustra esta configuração, também chamada de amplificador diferencial ativo padrão instrumentação.

Trata-se de uma das mais elaboradas configurações balanceadas, utilizada em alguns dos mais sofisticados aparelhos de áudio.

8.5.1.5 Considerações Sobre as Quatro Configurações Anteriores As figuras 8.40 a 8.43 mostram diferentes configurações de circuitos. As entradas de quaisquer dessas configurações possuem dois ramos.

As impedâncias de entrada de modo comum de cada um desses ramos, com relação à terra, é, sem exceção, 20 KΩ.

Nesse caso, ao menos no que se refere à RRMCM, os desempenhos das quatro configurações são idênticos. Mas há alguns probleminhas com todas elas, que vamos discutir na sequência.

Embaraço 1

Para quaisquer dessas configurações, mesmo que as impedâncias de entrada de modo comum sejam absolutamente balanceadas, ou seja, perfeitamente casadas, serão elas próprias as principais responsáveis pelos pontos fracos dos circuitos.

Quando qualquer dessas configurações é empregada num equipamento de áudio, geralmente o aparelho é pré-testado.

E as impedâncias de entrada de modo comum são especificadas como se fossem perfeitamente balanceadas.

Mas quando fazemos testes em campo, nos momentos que antecedem o início das instalações, já são encontrados desbalanceamentos que se situam entre 0,2Ω e 20Ω. Isto para aparelhos novos e sem uso.

Por outro lado, os fabricantes de equipamentos dificilmente apresentam especificações

precisas de RRMC.

Curioso, não?!

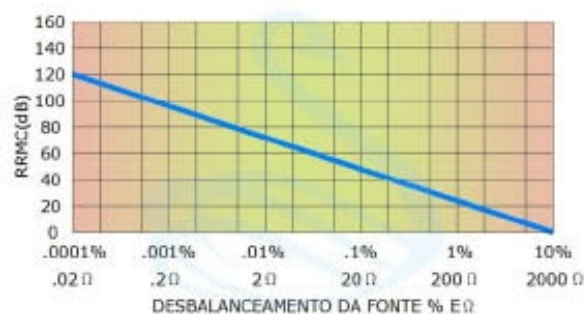


figura 8.44 comportamento das RRMC das entradas eletronicamente balanceadas x desbalanceamentos das fontes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quanto maior é o desbalanceamento das fontes, pior é a marca da RRMC.

A figura 8.44 mostra claramente que todas essas configurações sofrem de elevada sensibilidade de RRMC (60 Hz). Ou seja, a degradação imposta na RRMC por força de desbalanceamentos das impedâncias de entrada de modo comum.

No eixo horizontal da figura, os desbalanceamentos aparecem graduados em termos percentuais e em ohms.

Embaraço 2

As impedâncias de entrada dos dois ramos da configuração da figura 8.40 só são idênticas quando as voltagens de entrada nos mesmos também são iguais.

Mesmo assim, as impedâncias diferenciais para sinais de entrada não são simétricas com relação à terra. Naturalmente, se uma destas configurações for alimentada por uma fonte balanceada referenciada à terra, de impedância zero, as voltagens nos dois ramos serão forçadas a assumir valores idênticos.

Mas alimentadas por fontes flutuantes reais, caracterizadas por suas elevadas impedâncias de saída de modo comum, haverá significativos desbalanceamentos de amplitude de sinal. Tipicamente da ordem de 3,0 dB.

Em casos extremos de fontes ideais, todo o sinal estará apenas num dos ramos, enquanto nada haverá no outro.

Embaraço 3

As configurações das figuras 8.41 e 8.42 correspondem a uma clara solução de compromisso. A essência do compromisso é ter que ceder um pouco da RRMC para obter melhor figura de ruído.

Para exemplificar esse ponto, vejamos o caso da entrada diferencial com amplificador operacional único. Os elevados valores dos resistores implicam numa figura de ruído de saída de -105,0 dBu (referência 775 mV RMS). Quando alimentados por fontes simétricas de ± 15 VCC, o que é o usual, o nível máximo de saída é cerca de + 20,0 dBu.

Dessa forma, chega-se a um potencial máximo de gama dinâmica de 125,0 dB.

Se queremos reduzir a sensibilidade da RRMCM para desbalanceamentos da fonte, podemos aumentar os valores dos resistores de entrada. Mas o preço a pagar é o aumento do nível de ruído. Exemplo, se os valores dos resistores forem duplicados, a redução da sensibilidade da RRMCM custará um aumento de 3,0 dB no nível de ruído.

Embaraço 4

As entradas de todos esses circuitos geralmente são desacopladas por capacitores eletrolíticos. É fato indiscutível que as tolerâncias destes componentes são inerentemente elevadas, e também, que seus valores são relativamente instáveis com o tempo.

Como resultado, há uma degradação natural da RRMCM de baixas frequências com o tempo, por efeito de desbalanceamentos progressivos das impedâncias de entrada de modo comum.

Embaraço 5

Dispositivos de supressão de voltagens de RF de modo comum constituem uma praxe nas configurações analisadas. Isto se faz para evitar a demodulação posterior pelos amplificadores operacionais. Novamente, estamos diante de uma solução de compromisso. Senão, vejamos.

A supressão toma a forma de capacitores com valores em torno de 1 nF de cada ramo de entrada para a terra. Se eles não forem casados de forma absolutamente rigorosa, estarão desbalanceando a impedância de entrada de modo comum. E ainda, comprometendo a RRMCM para as altas frequências, onde ela é mais importante.

Contudo, mesmo que esses componentes fossem perfeitamente balanceados, sua simples introdução já reduziria as impedâncias de entrada de modo comum. O que de fato ocorre, provocando um aumento da sensibilidade da RRMCM em altas frequências para desbalanceamentos das fontes.

Embaraço 6

A faixa de voltagem de modo comum máxima para a maioria das configurações até aqui discutidas fica limitada a valores práticos máximos que se situam entre não menos do que ± 10 V e não mais do que ± 15 V.

Com elevados níveis de sinal, a gama de modo comum pode aproximar-se de zero, porque o limite, seja ele qual for, vale para a soma do pico de sinal com o pico de voltagem de modo comum.

Por esse motivo, sistemas móveis de gravação, e até sistemas permanentes de reforço, podem sofrer distúrbios elétricos em ambientes difíceis, especialmente aqueles provocados por equipamentos de iluminação de média e de alta potência.

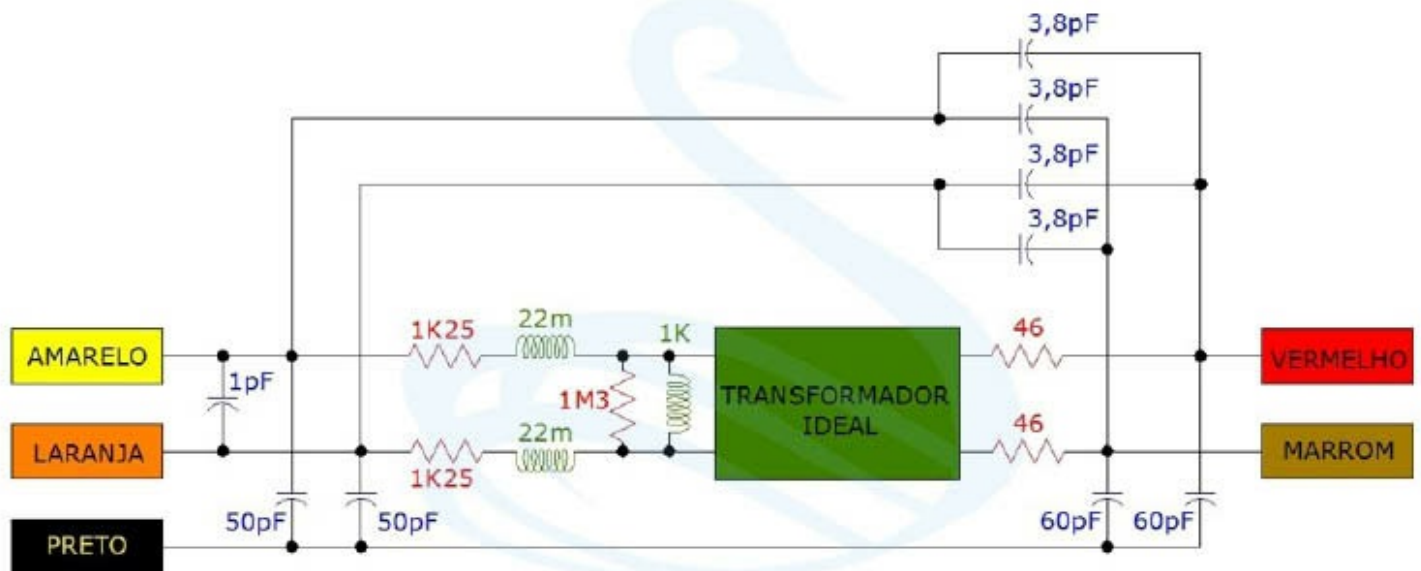


figura 8.45 circuito equivalente de um transformador de entrada de linha acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Podemos dizer que este componente transforma um sinal elétrico de entrada num campo magnético, e em seguida, este campo magnético num outro sinal elétrico, o de saída. Esses dois sinais são eletricamente isolados entre si.

Como vimos, transformadores são dispositivos diferenciais por excelência. Por isso, não há necessidade de “nullings” absolutamente precisos.

A ausência de componentes, como os capacitores eletrolíticos, faz deles peças estáveis por toda sua vida útil.

A figura 8.45 mostra o circuito equivalente de um transformador de entrada de linha de excelente qualidade (Jensen JT-10KB-D).

Suas impedâncias de entrada de modo comum são determinadas pelas capacitâncias do enrolamento primário para a blindagem de Faraday, aterrada, que estão no entorno de 50 pF, e pelas capacitâncias parasíticas para o enrolamento secundário, também aterrado.

O resultado é que as impedâncias de entrada de modo comum são excepcionalmente elevadas. Cerca de 50 MΩ a 60 Hz e de 1 MΩ a 3 kHz.

Esses valores produzem uma relativa insensibilidade da RRMC, mesmo para grandes desbalanceamentos de impedância da fonte.

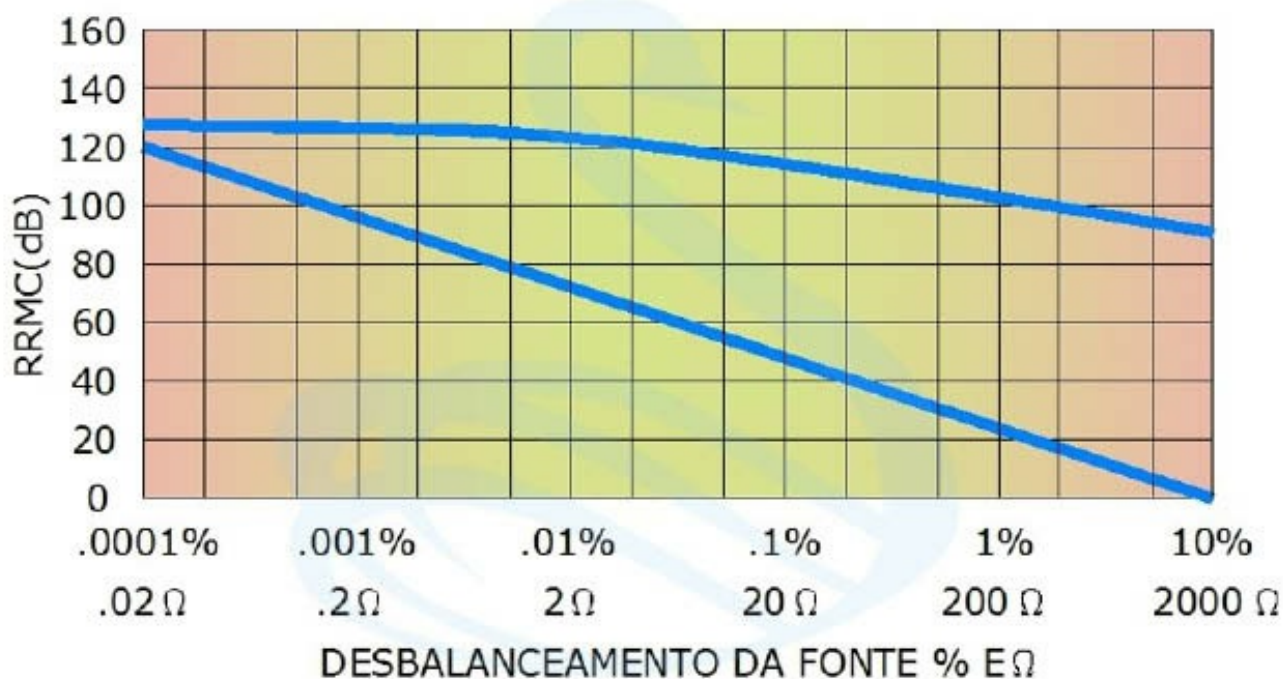


figura 8.46 comportamento das RRMCM das entradas eletronicamente balanceadas (curva inferior) e dos transformadores (curva superior) x desbalanceamentos das fontes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É o que nos mostra a figura 8.46.

Para que possamos comparar diretamente as sensibilidades de RRMCM de amplificadores ativos com a dos transformadores, esta figura exibe não só a curva para os transformadores (superior), mas repete a curva da figura 8.44, para as entradas balanceadas (inferior).

Além disso, os transformadores podem casar a impedância da linha balanceada, de maneira a otimizar a resistência da fonte para o amplificador subsequente, recurso que possibilita maximizar a relação sinal/ruído.

Nestes casos, a figura de ruído é a medida da degradação do sinal para o ruído, atribuída ao amplificador.

A figura atinge seu ponto mínimo quando o amplificador opera a partir da resistência ótima de fonte.

Essa condição é essencial para pré-amplificadores de microfones. Mas também bastante importante para níveis de linha.

A gama dinâmica de um estágio de linha acoplado a transformador, operando com fonte simétrica de ± 15 VCC, pode atingir facilmente os 140,0 dB.

Além disso, se dotados de blindagem de Faraday, os transformadores possuem excelentes propriedades de atenuação de RF de modo comum.

Parece que a única desvantagem dos transformadores é seu custo elevado. Especialmente para produtos de qualidade.

8.5.2 Tipos de Fontes dos Aparelhos de Áudio Do ponto de vista meramente eletrônico, as fontes dos aparelhos podem ser classificadas em três tipos: referenciadas à terra, ativas flutuantes e flutuantes a transformador.

8.5.2.1 Referenciadas a Terra Este tipo de configuração é representado de forma simplificada na figura 8.47.A.

O correspondente circuito equivalente é o que mostra a figura 8.47.B. Percebe-se que a fonte trabalha sobre uma carga.

Vamos prosseguir com a análise, supondo que a carga seja ideal. Como mostra a figura, a impedância de entrada de modo comum da carga é $20\text{ K}\Omega$ exatos, por ramo de entrada.

Para melhor visualização do circuito, e assim facilitar a análise, a figura 8.47.B inclui geradores diferenciais. Contudo, para a análise dos ruídos de modo comum, esses geradores devem ser considerados curto-circuitados.

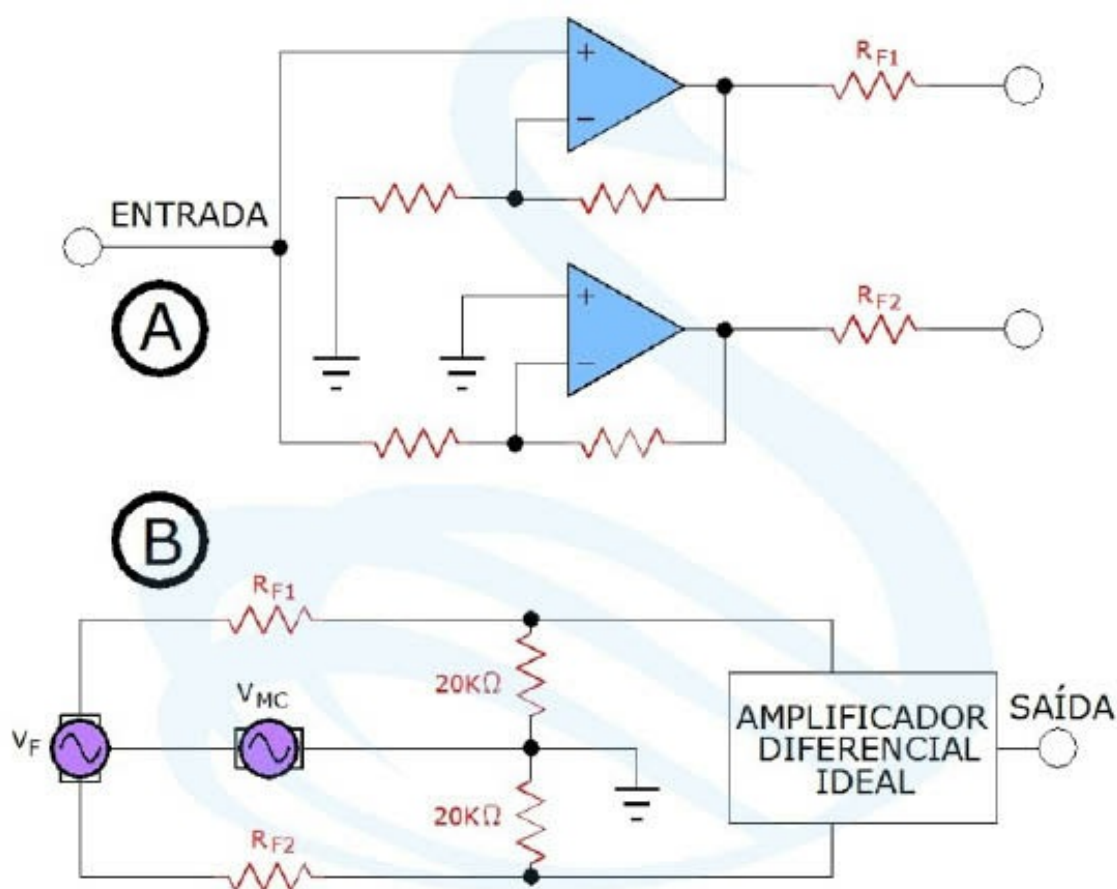


figura 8.47 fontes referenciadas à terra A. Representação esquemática simplificada B. Circuito equivalente simplificado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O terra da carga é o RSPZ, enquanto a voltagem de modo comum do terra da fonte está referenciado ao terra da carga.

A fonte referenciada à terra possui duas fontes de voltagem, cada qual referenciada à terra.

As impedâncias de saída de modo comum, de natureza resistiva, são R_{F1} e R_{F2} . A impedância diferencial de saída é

$$R_{FD} = R_{F1} + R_{F2} \quad (8.16)$$

A voltagem de modo comum V_{MC} , aplicada aos dois ramos do circuito através de R_{F1} e R_{F2} , aparece atenuada na carga. Essa atenuação ocorre pela presença de dois divisores de voltagem, constituídos por R_{F1} e $20\text{ K}\Omega$ num ramo, e por R_{F2} e $20\text{ K}\Omega$ no outro.

Diferenças de valores dos divisores de voltagem provocam desbalanceamentos das

voltagens atenuadas para os dois ramos do circuito, o que degrada a RRMC.

Os valores típicos para R_{F1} e R_{F2} estão entre 20Ω e 100Ω , com tolerâncias de 1% a 10%. Considerados esses números, os piores casos de desbalanceamentos de impedâncias estarão entre $0,4\Omega$ e 20Ω .

O desbalanceamento de $0,4\Omega$ provoca a queda da RRMC para 94,0 dB, e o desbalanceamento de 20Ω provoca a queda da RRMC para 60 dB.

8.5.2.2 Ativas Flutuantes A figura 8.48.A mostra esta configuração. O correspondente circuito equivalente está na figura 8.48.B.

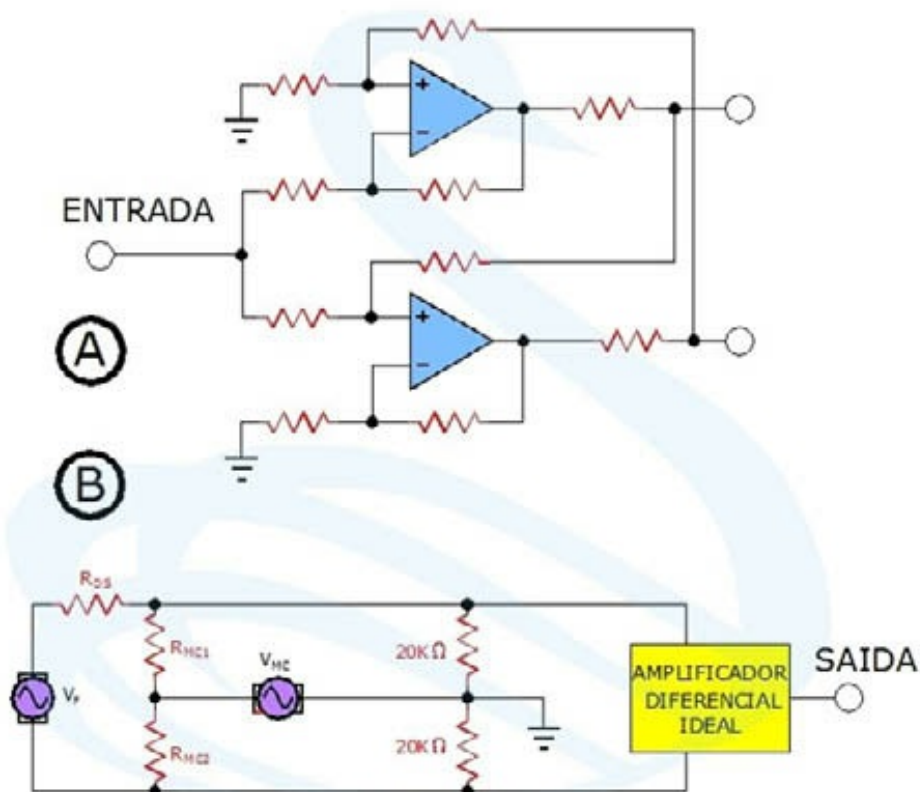


figura 8.48 fontes ativas flutuantes A. Representação esquemática simplificada B. Circuito equivalente simplificado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne São empregados dois amplificadores operacionais com acoplamento cruzado. As realimentações positiva e negativa emulam uma fonte de tensão flutuante. As impedâncias de saída de modo comum, também de natureza resistiva, são R_{MC1} e R_{MC2} .

A impedância diferencial de saída é R_{DS} . A tensão de modo comum, V_{MC} , é aplicada aos dois ramos de entrada através de R_{MC1} e de R_{MC2} .

Esta tensão também aparece atenuada na carga. E novamente, pela presença de dois divisores de tensão, constituídos por R_{MC1} e $20\text{ K}\Omega$ num ramo, e por R_{MC2} e $20\text{ K}\Omega$ no outro, ficando R_{DS} em paralelo com a linha. O valor típico de R_{DS} está entre 50Ω e 100Ω .

O balanceamento exato desta configuração é determinado pela relação de resistores, a qual tem a propriedade de aumentar as impedâncias de saída de modo comum do circuito, e de alterar o balanceamento do sinal de saída.

Como consequência, os ajustes são de obtenção particularmente difícil, e os valores de

R_{MC1} e de R_{MC2} não são especificados diretamente.

Alguns fabricantes dessa configuração especificam a RSMC (Rejeição de Saída de Modo Comum) seguindo os métodos de testes recomendados pela BBC (British Broadcasting Company).

Se processados por técnicas de análise de circuitos assistidas por computador, os resultados de testes possibilitam estabelecer precisamente os valores de R_{MC1} e de R_{MC2} .

Em situações simuladas aplicadas às seções do circuito, já foram encontrados valores de 5,3 K Ω e 58,5 K Ω para desempenhos de RSMC e RBS (Relação de Balanceamento de Sinal), indicando desempenhos ligeiramente superiores aos valores típicos especificados pelos fabricantes.

Em compensação, nessas circunstâncias, as RRMC dos sistemas foram degradadas a ponto de se situar num valor médio em torno dos 57,0 dB.

Como os desbalanceamentos são resistivos, a RRMC é constante por todo o espectro das frequências de áudio.

8.5.2.3 Flutuantes a Transformador

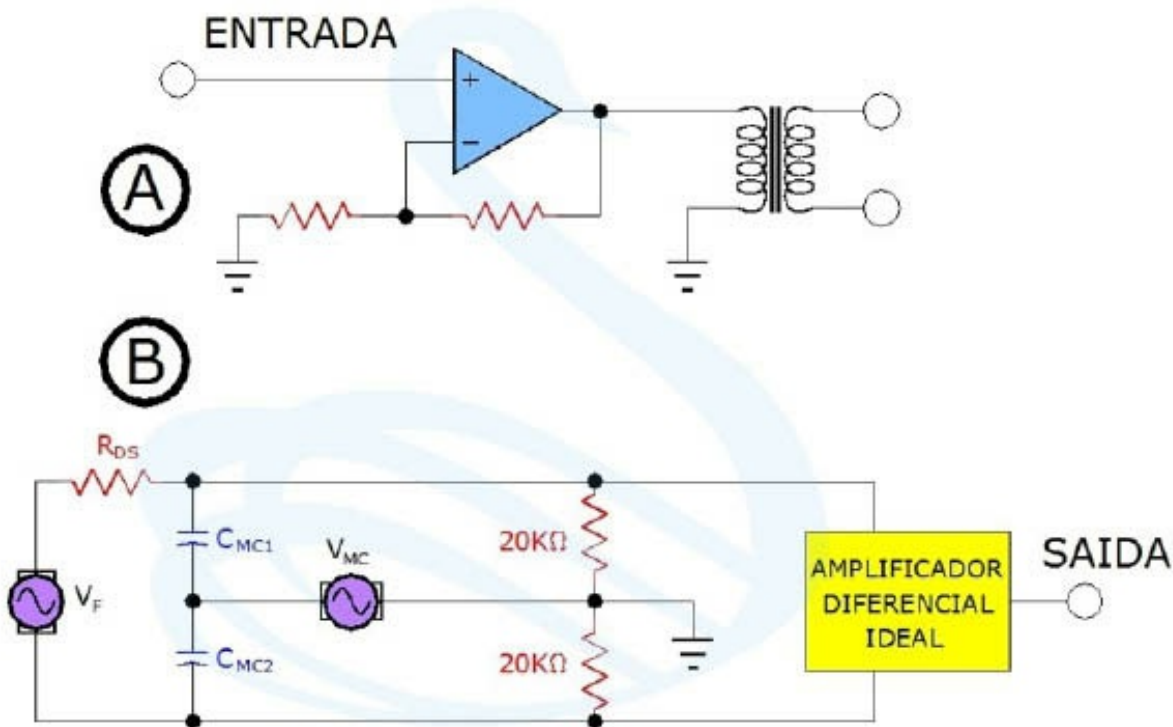


figura 8.49 fontes flutuantes a transformador A. Representação esquemática simplificada B. Circuito equivalente simplificado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esta configuração é basicamente um amplificador que alimenta o primário de um transformador. Como ilustra a figura 8.49.A. A figura 8.49.B é o circuito equivalente que lhe corresponde.

Por força de realimentação negativa convencional, a impedância de saída do amplificador é praticamente nula.

As impedâncias de saída de modo comum C_{MC1} e C_{MC2} são determinadas pela capacitância entre enrolamentos de transformadores tipo multifilar, ou da capacitância do secundário para a

blindagem, no caso de transformadores dotados de blindagem de Faraday.

A impedância diferencial de saída R_{DS} equivale à soma da resistência do enrolamento secundário com a resistência refletida do enrolamento primário.

Para transformadores bifilares, os valores típicos de C_{MC1} e C_{MC2} estão entre 7 e 20 nF, cada um, com desbalanceamentos de até 2%. Os valores típicos de R_{DS} estão entre 35Ω e 100Ω .

E as RRMC se situam entre 110,0 e 120,0 dB a 20 Hz. Como os desbalanceamentos são capacitivos, a RRMC cai cerca de 6,0 dB por oitava até 500 Hz.

A partir disso, a RRMC é da ordem de 85,0 a 95,0 dB, e o valor torna-se constante e praticamente independente da frequência.

Observem que se fosse utilizado o transformador de entrada de linha Jensen JT-10KB-D, ao invés de uma carga com circuito ativo, sua capacidade plena de RRMC, isto é, 125,0 dB a 60 Hz e 85,0 dB a 3 kHz, seria integralmente obtida com quaisquer das fontes e condições antes descritas.

8.5.2.4 Comportamento das Fontes Quanto ao Tipo de Carga O comportamento das fontes diante de casos “inesperados” é um aspecto que logo nos chama a atenção.

Basta que nos lembremos que em interligações de saídas balanceadas para entradas não balanceadas, é muito comum que um dos ramos da saída seja curto-circuitado para a terra.

Quaisquer que sejam as fontes descritas, é de se esperar que os dois ramos de saída sejam capazes de suportar curtos eventuais para a terra, ou entre si, e por tempo indeterminado. Naturalmente, sem que os componentes apresentem falhas ou sejam danificados.

A melhor maneira de obter bons resultados nesse sentido é através do uso de limitadores de corrente e do emprego de recursos de desligamento automático por ação térmica.

Diante de curtos para a terra, as fontes referenciadas à terra tenderão ao fornecimento de correntes elétricas anormalmente elevadas. Contudo, estes circuitos geralmente são dotados de limitadores de corrente, monitores de temperatura, e até de proteções de abertura em casos excepcionais.

Quando estas configurações não possuírem tais recursos, trabalharão com esforço adicional mesmo a níveis moderados de exigência. E com isso, os sinais tenderão a apresentar distorções.

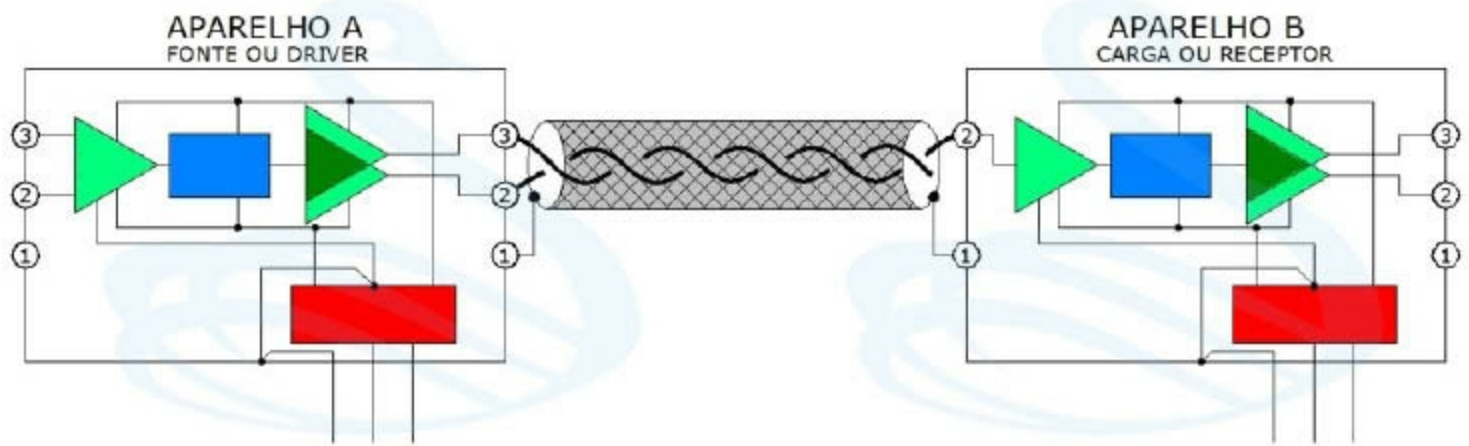


figura 8.50 fonte ativa flutuante operando com carga não balanceada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Simultaneamente, correntes elétricas estarão fluindo para o terra remoto.

Quando estas correntes retornam para a fonte, acabam por circular pela rede de terra e tornam-se voltagens de modo comum para o equipamento subsequente do sistema. O sintoma usualmente reportado é o elevado nível de diafonia.

No que se refere às condições adversas de carga, como por exemplo com uma carga não balanceada, as configurações ativas flutuantes são um compromisso entre a RRMCC, a magnitude do balanceamento de saída e a estabilidade em altas frequências.

Estas geralmente referidas como “habilidade tipo transformador para operar com cargas não balanceadas”.

O que é verdade. Mas para que isso aconteça, é indispensável que a saída seja cuidadosamente aterrada, e sempre do lado da fonte.

Mas isto é o mesmo que fazer da interligação algo totalmente não balanceado. Como mostra a figura 8.50.

Sem dúvida, uma nítida desvantagem, pois, nesses casos simplesmente não há rejeição de ruídos de terra.

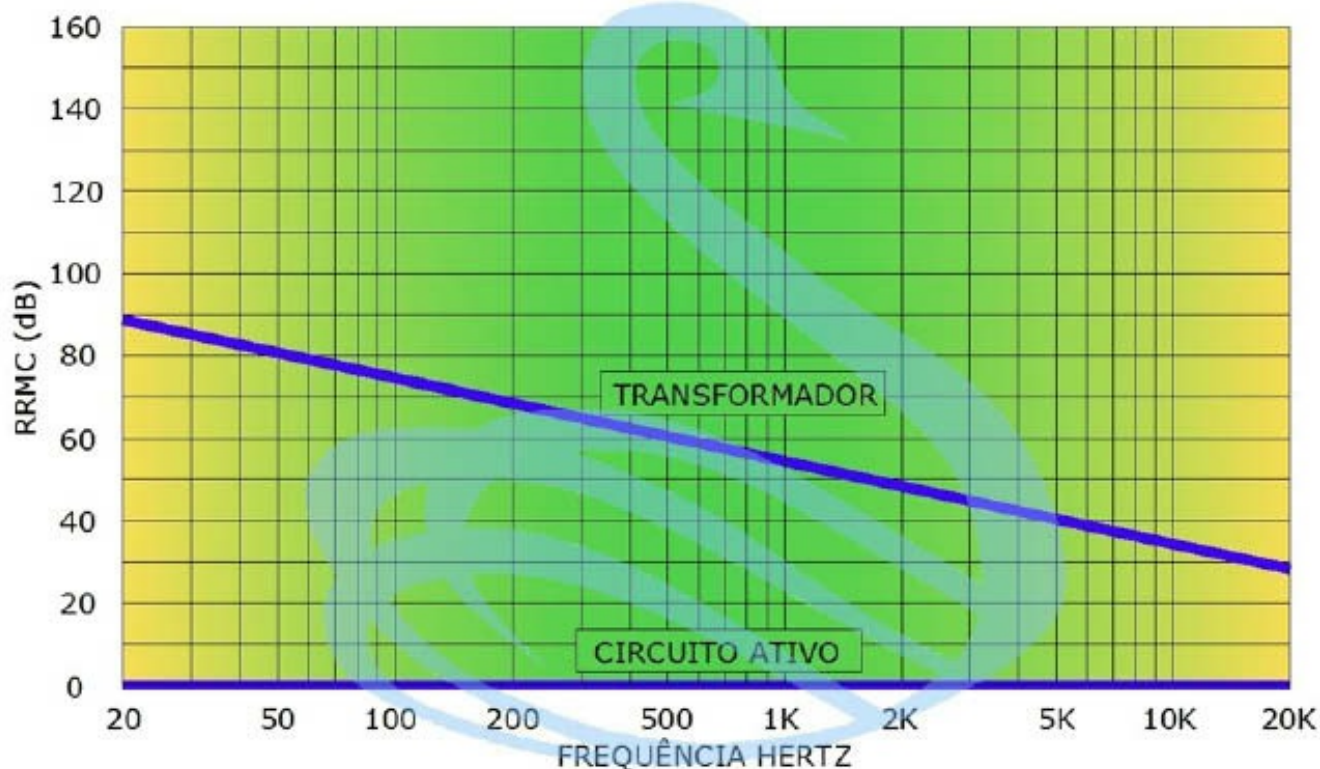


figura 8.51 comportamentos da RRM das fontes flutuantes ativas e a transformador, operando com cargas não balanceadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As fontes flutuantes a transformador apresentam a capacidade inerente de isolar a conexão de terra entre a saída e a entrada não balanceada.

Por outro lado, os enrolamentos secundários dos transformadores têm a capacidade de referenciar sua saída elétrica ao terra da entrada não balanceada.

Por isso, rames das linhas de alimentação são reduzidos em até 70,0 dB para a situação típica.

A comparação dos casos acima pode ser feita por processos subjetivos ou de forma direta e objetiva.

Com julgamentos subjetivos, as diferenças são surpreendentemente perceptíveis, de modo a não deixar quaisquer dúvidas.

Do mesmo modo, os resultados de medições também são extraordinariamente claros. Como mostra a figura 8.51.

8.6 AS INTERLIGAÇÕES QUANTO AOS NÍVEIS DOS SINAIS

Em sua tarefa de escolher os aparelhos que serão integrados num sistema de sonorização, o engenheiro de áudio deve restringir suas opções de forma que o nível de saída de qualquer aparelho seja adequado para trabalhar com a entrada do aparelho subsequente da cadeia.

Neste caso específico, é de todo conveniente que pesquisemos o sentido do termo adequado, como empregado no parágrafo anterior.

Vimos que os níveis nominais de entrada e de saída podem ser arbitrados livremente. Suponha que tenhamos um aparelho com nível nominal de saída de 1 volt, que será ligado a outro aparelho com nível nominal de entrada de 0,1 volt. Isso configura um nível de saída

elevado? Talvez sim. Mas...talvez não.

Não podemos ser conclusivos julgando só por esses dados. Precisamos conhecer ainda o nível máximo de saída do primeiro aparelho, e o nível máximo de entrada do segundo. São esses níveis que, se não estiverem ajustados poderão provocar distorções.

Por exemplo, se ambos forem 10,0 volts, embora os respectivos níveis nominais sejam diferentes, o nível de saída não será elevado.

Mas se o nível máximo de saída do primeiro aparelho for 10,0 volts e o nível máximo do sinal de entrada do segundo aparelho for 2,0 volts, então devemos concluir que os riscos da fonte saturar a carga são elevados. Especialmente em passagens de picos e transientes.

É verdade que alguns aparelhos possuem controle de nível do sinal de saída. O que, a primeira vista, dá a impressão de que, com eles, basta que ajustemos os níveis elevados de saída para valores mais baixos, e pronto. O sinal de saída, antes elevado, terá sido restabelecido para o nível adequado e todo o resto estará muito bem.

Mas podem haver sequelas pesadas. Uma delas é que, na maioria desses casos, a impedância de saída do aparelho fonte é alterada na medida em que se utiliza o controle de nível do sinal de saída. O que nos coloca numa situação de ter que abrir um buraco para tapar outro.

Além disso, dependendo do particular circuito do controle de nível, o sinal de saída poderá estar sendo reduzido sem que o mesmo aconteça com os ruídos. E a relação sinal/ruído na saída do aparelho acaba comprometida. Desse modo, o que acaba sendo mesmo comprometida é a relação sinal/ruído final de todo o sistema.

Quando por uma ou por outra razão o nível de sinal elevado da fonte é um fato consumado, o mais recomendado é partir para uma alternativa considerada tecnicamente mais apurada. Que é interpor um atenuador entre os dois aparelhos. Desse modo, o atenuador irá atenuar igualmente sinais e ruídos, sem quaisquer prejuízos para a relação sinal/ruído.

Embora um estudo mais detalhado dos atenuadores não faça parte deste trabalho, devo dizer que quaisquer atenuadores de interposição são circuitos extremamente simples. Ou seja, redes arrançadas com poucos resistores não indutivos. E sua construção não apresenta qualquer desafio para um profissional relativamente habilidoso.

Os atenuadores podem ser construídos para quaisquer atenuações desejadas. E também são empregados para ajustar impedâncias. Neste caso, se as impedâncias são diferentes, há valores mínimos de atenuação que devem ser respeitados.

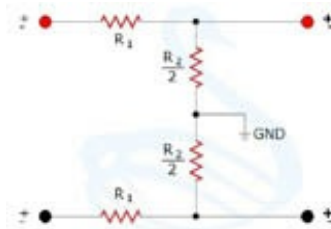


figura 8.52 atenuador tipo U, configuração balanceada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Suponha que tenhamos um aparelho com saída balanceada, impedância de 600Ω , e nível máximo de saída de 10,0 volts. Para ser interligado a outro aparelho, com entrada balanceada, impedância $5\text{ k}\Omega$, nível máximo de entrada 2,0 volts.

Se julgarmos que a relação das impedâncias está adequada, e ao mesmo tempo, quisermos atenuar o nível do sinal de saída de 10,0 para 2,0 volt, poderemos pensar em empregar um atenuador.

Uma outra maneira de dizer que julgamos adequada a relação de nossas impedâncias, é que julgamos adequado que o primeiro aparelho, ao “olhar” para o segundo, “enxergue” uma impedância de $5\text{ k}\Omega$. E também, que o segundo, ao “olhar” para o primeiro, “enxergue” uma impedância de 600Ω .

O fato de inserirmos o atenuador entre ambos não deve alterar a relação original das impedâncias. O que significa que o primeiro aparelho, ao “olhar” para o atenuador deve continuar “enxergando” uma impedância de $5\text{ k}\Omega$. De sua perspectiva, o segundo, ao “olhar” para o atenuador também deve continuar “enxergando” uma impedância de 600Ω .

Trocando em miúdos, do ponto de vista das impedâncias, o atenuador deve ser tão transparente quanto possível.

Há diversas configurações de atenuadores. A mais utilizada em casos como o de nosso exemplo, onde há uma sensível redução de impedâncias, é o atenuador tipo “U”, ilustrado na figura 8.52.

Os resistores do atenuador U são calculados pelas seguintes expressões:

$$R_1 = \frac{Z_1}{2S} - \frac{KS - 1}{K} \quad (8.17)$$

$$R_2 = \frac{Z_1}{S} - \frac{1}{K - S} \quad (8.18)$$

onde

- Z_1 é a impedância na entrada do atenuador, em Ω ,
- Z_2 é a impedância na saída do atenuador, também em Ω ,
- $S = \sqrt{Z_1 / Z_2}$, e
- K é a relação entre as voltagens.

Em nosso exemplo, para satisfazer à condição de transparência do atenuador, somos obrigados a fazer $Z_1 = 5.000\Omega$ e $Z_2 = 600\Omega$.

Lembrando que $K = 10,0/2,0 = 5$, os resistores do atenuador exemplo seriam:

$$R_1 = \frac{5000}{2 \times 2,89} - \frac{5 \times 2,89 - 1}{5} = 2.327 \Omega$$

$$R_2 = \frac{5000}{2,89} - \frac{1}{5 - 2,89} = 820 \Omega$$

Se você fizer as contas com outros parâmetros e encontrar um denominador negativo no cálculo de R_2 , o significado é que a atenuação mínima da qual falamos antes não está sendo respeitada.

Outra possibilidade é empregar o atenuador tipo π , configuração balanceada, como ilustra a figura 8.53.

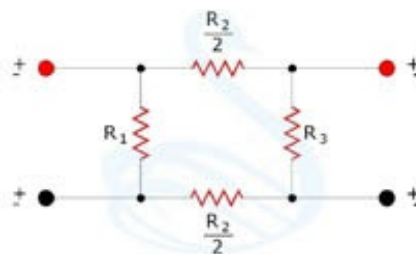


figura 8.53 atenuador tipo π , configuração balanceada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os resistores do atenuador π são calculados pelas seguintes expressões:

$$R_1 = Z_1 \frac{K^2 - 1}{K^2 - 2KS + 1} \quad (8.19)$$

$$R_2 = \frac{\sqrt{Z_1 Z_2}}{2} - \frac{K^2 - 1}{K} \quad (8.20)$$

$$R_3 = Z_2 \frac{K^2 - 1}{K^2 - \sqrt{2 \frac{K}{S}} + 1} \quad (8.21)$$

onde

- Z_1 é a impedância na entrada do atenuador, em Ω ,
- Z_2 é a impedância na saída do atenuador, também em Ω ,
- $S = \sqrt{Z_1 / Z_2}$, e
- K é a relação entre as voltagens.

Ainda em nosso exemplo, se ao invés de um atenuador tipo U, optássemos por um de tipo π , configuração balanceada, poderíamos calcular:

$$R_1 = 5.000 \frac{5^2 - 1}{5^2 - 2.5 \cdot \sqrt{\frac{5.000}{600}} + 1} = 5.192 \Omega$$

$$R_2 = \left[\frac{\sqrt{5.000 \times 600}}{2} \right] \left[\frac{K^2 - 1}{K} \right] = 4.156 \Omega$$

$$R_3 = 60 \frac{(5^2 - 1)}{5^2 - 2 \frac{5}{\sqrt{\frac{5.000}{600}}} + 1} = 639 \Omega$$

Vejamos agora como caracterizar casos nos quais os níveis de saída do primeiro aparelho são insuficientes para excitar devidamente o segundo aparelho.

Novamente, podemos ter uma ideia disso se nos guiarmos apenas pelos níveis nominais. Mas só podemos decidir se soubermos quais são os níveis máximos de entrada de um e de saída de outro aparelho.

Se o nível máximo de saída do primeiro for 0,5 volt e o nível máximo de entrada do segundo for 20,0 volts, saberemos que estamos diante de um possível caso de sinal de saída muito baixo.

O resultado provável e direto disso é que poderemos não obter os níveis de pressão sonora calculados na etapa do dimensionamento eletroacústico. O que seria uma pena. Algo como nadar muito para morrer na praia.

Casos assim definitivamente configuram o que se convencionou chamar de incompatibilidade entre equipamentos. Diante disso, praticamente não há o que fazer, exceto substituir o primeiro equipamento.

Casos dessa natureza são muito comuns quando o primeiro aparelho escolhido é da variedade doméstica, com saídas não balanceadas, e o segundo é um profissional de qualidade.

8.7 LIGAÇÕES AMPLIFICADOR - CAIXAS ACÚSTICAS

Estas ligações podem ser analisadas sobre vários aspectos. Os dois principais, que nos interessam no momento, são as impedâncias e os níveis dos sinais. Entretanto, antes de entrarmos nisso com mais profundidade, vamos tratar da associação das caixas acústicas.

8.7.1 Associação de Caixas Acústicas Caixas acústicas podem ser associadas. Isto é, ligadas umas com as outras. Duas caixas acústicas podem ser ligadas em paralelo, como mostra a figura 8.54, ou em série, como mostra a figura 8.55.

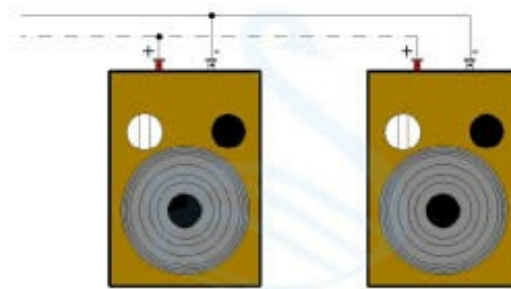


figura 8.54 duas caixas acústicas ligadas em paralelo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Assim como estamos interessados na impedância de uma caixa só, também temos interesse e necessidade de saber qual é a impedância resultante da combinação das caixas. Independentemente de como elas serão associadas.

Na associação em paralelo, a impedância do arranjo pode ser calculada por

$$Z_P = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}} \quad (8.22)$$

onde

- Z_P é a impedância do arranjo em Ω , e
- Z_1 e Z_2 são as impedâncias individuais das caixas combinadas, também em Ω

Na associação em série a impedância do arranjo pode ser calculada por

$$Z_P = Z_1 + Z_2 \quad (8.23)$$

sendo Z_P , Z_1 e Z_2 as impedâncias individuais das caixas combinadas, em Ω

Essas duas maneiras de combinar as caixas são as fundamentais. Mas também podemos ligar em paralelo quantas caixas quisermos.

Então, a expressão para cálculo de Z_P torna-se:

$$Z_P = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_N}} \quad (8.24)$$

onde Z_1 , Z_2 , Z_3 , ... Z_N são as impedâncias individuais das caixas combinadas, em Ω

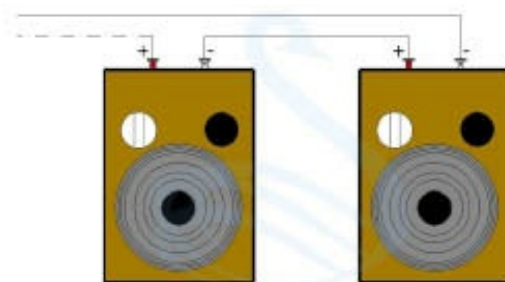


figura 8.55 duas caixas acústicas ligadas em série acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se imaginarmos uma associação de muitas caixas acústicas ligadas em paralelo, como por exemplo 12 caixas, e fizermos os cálculos usando a expressão 8.24, vamos verificar que a impedância do arranjo é muito baixa.

E também podemos pensar em associar quaisquer quantidades de caixas em série. Para calcular a impedância da combinação usamos a expressão

$$Z_P = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_N \quad (8.25)$$

Se imaginarmos a associação de 16 caixas acústicas ligadas em série, e fizermos os cálculos usando a expressão 8.25, vamos verificar que a impedância do arranjo é muito alta.

Então, é possível fazermos ligações série-paralelo, ou paralelo-série, de modo que obtenhamos uma dada impedância desejada. A figura 8.56 mostra dois exemplos.

Essas ligações série-paralelo e paralelo-série podem ser feitas com quaisquer quantidades de caixas acústicas.

O cálculo da impedância resultante desse tipo de combinação é feito por etapas. Escolhemos duas ou mais caixas quaisquer, ligadas em paralelo, ou em série, e aplicamos a correspondente expressão, entre 8.22 a 8.25. Esse grupo de caixas do qual se calculou a

impedância resultante é considerado, então, uma única caixa.

E assim vamos reduzindo progressivamente a quantidade inicial até que tenhamos um só valor, que será a impedância resultante de toda a combinação.

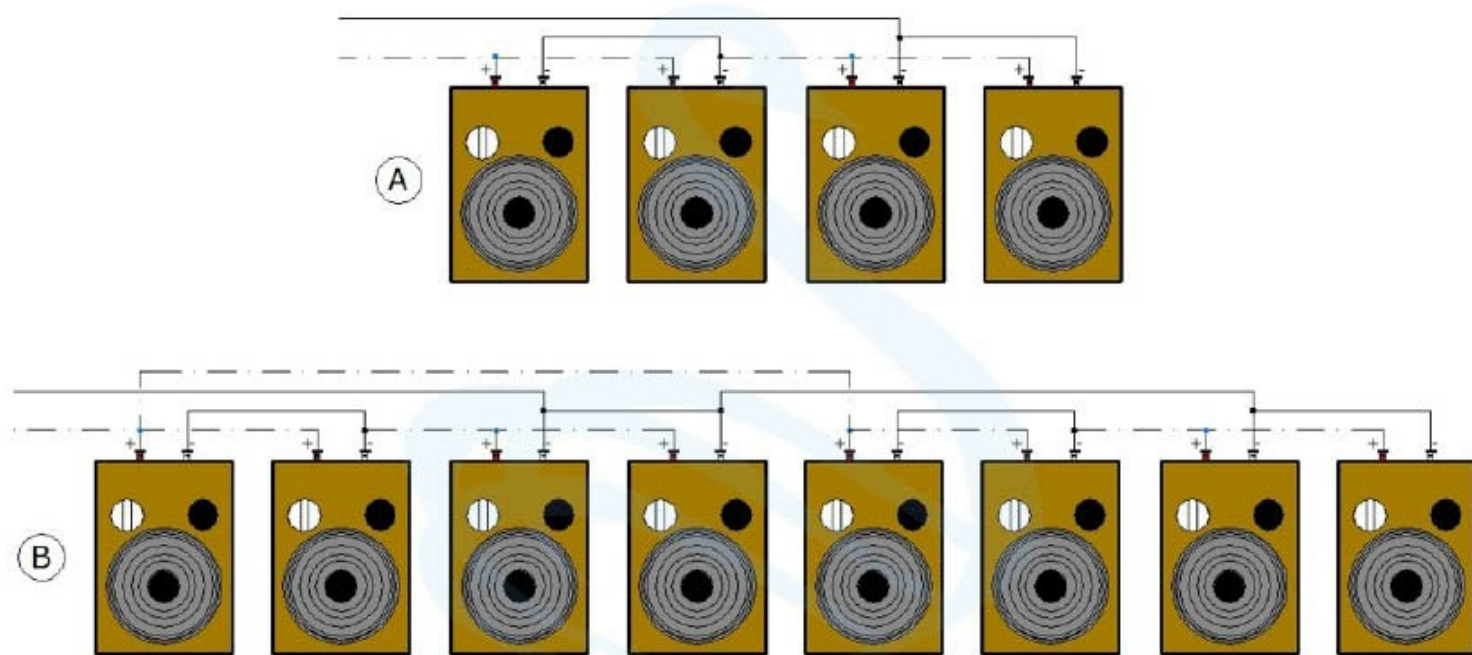


figura 8.56 associação de caixas acústicas A. Quatro caixas de 8Ω cada uma, ligadas para obtenção de impedância resultante de 8Ω

B. Oito caixas de 8Ω cada uma, ligadas para obtenção de impedância resultante de 4Ω
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quero fazer dois comentários sobre essas ligações. O primeiro, que qualquer caixa de qualquer arranjo pode ser substituída por um resistor de mesmo valor ôhmico que a caixa substituída.

Se isso agora parece uma informação inócua, posso lhes garantir que o emprego prático desta técnica é algo muito comum. Especialmente quando estamos diante de um caso real, para o qual precisamos de menos caixas acústicas do que o arranjo mais próximo exige para a obtenção de uma determinada impedância.

Claro, os resistores de “enchimento” devem possuir dissipação adequada. Entendida como tal valores de quatro a cinco vezes superiores ao valor teórico de potência calculado.

O segundo comentário refere-se às vantagens de fazer um arranjo de uma ou outra forma.

Por exemplo, usando 4 caixas de 8Ω , podemos arranjá-las de duas maneiras para obter uma resultante de 8Ω .

Do primeiro modo, arranjamos dois pares em paralelo, e depois seríamos os pares, como na figura 8.56.A.

Outra forma seria arranjarmos dois pares em série, e a seguir ligá-los em paralelo.

Vejamos o que acontece em cada um desses casos se a bobina móvel do falante de uma das caixas se abrir.

No primeiro caso, as 3 caixas restantes continuarão funcionando. E se fizermos os cálculos da nova impedância resultante, veremos que ela aumentará. Se as caixas forem todas de 8Ω , o

novo valor será 12Ω . Esse aumento funcionará como uma proteção, já que o amplificador entregará menos potência sobre os 12Ω , do que fazia sobre 8Ω .

No segundo caso, duas caixas ficarão fora de ação. A danificada, e a que estava ligada em série com ela, uma vez que o circuito em série perde sua continuidade. E se as caixas forem todas de 8Ω , como no caso anterior, o novo valor da impedância combinada será 16Ω . O grau de proteção agora é mais elevado. Mas as custas de uma caixa a mais que, embora não danificada, não estará sendo utilizada.

Assim, a primeira maneira de arranjar parece mais vantajosa.

Diante de quaisquer combinações de caixas, recomendo que um estudo semelhante ao que acabamos de fazer para nossas duas alternativas, seja cuidadosamente elaborado para todas as alternativas da combinação com que se lida. E a seguir, pode-se escolher a alternativa considerada mais vantajosa.

8.7.2 As Impedâncias

Vamos agora examinar a questão das impedâncias de saída dos amplificadores de potência x impedâncias das caixas acústicas.

Aqui as impedâncias também não são casadas. De fato, a impedância de saída típica de um amplificador de potência é uma pequena fração de Ω . E as impedâncias nominais mais comuns dos alto-falantes e das caixas acústicas são 4, 8, e 16Ω .

É preciso observar que os fabricantes de amplificadores invariavelmente estabelecem um valor mínimo de impedância de carga, aquém do qual seus produtos são vulneráveis e estão sujeitos a sérios riscos de danos.

Portanto, quando um amplificador alimenta um único alto-falante, a impedância nominal deste não deve ser inferior ao valor mínimo recomendado pelo fabricante do amplificador. E o mesmo aplica-se a qualquer tipo de combinação de caixas acústicas.

Uma das tendências atuais mais claras do áudio diz respeito aos valores das impedâncias de carga com que os amplificadores podem trabalhar.

Com efeito, essas impedâncias são cada vez mais baixas.

E os fabricantes garantem que seus amplificadores podem trabalhar com valores extremamente baixos, de modo totalmente seguro. O que geralmente é verdade. **Mas não toda a verdade.**

E nem poderia ser, porque a outra parte dela está profundamente mergulhada na forma pela qual o sistema é utilizado.

E francamente, não há qualquer interesse dos fabricantes de amplificadores em entrar em seus pormenores.

De meu lado, penso que tenho o dever de levantar a questão. Até porque creio que o assunto não vem sendo observado com o rigor técnico que deveria. Resultados? Espero sinceramente que você, caro leitor, possa avaliá-los bem após a leitura de uns poucos parágrafos a seguir.

Como cargas mais baixas exigem correntes progressivamente mais elevadas, os amplificadores projetados para trabalhar com elas usam grandes quantidades de transistores associados em paralelo nos estágios de saída.

E assim, é possível suprir demandas elevadas impostas pelas cargas de baixa impedância.

Só para lhes dar uma ideia, um amplificador produzindo 4.000 watts sobre carga de 2Ω , estará operando com voltagem de cerca de 89,44 volts, e a corrente elétrica será superior a 44,72 ampères. Até aí tudo bem. Se temos transistores suficientes, e fonte de alimentação para tanto, podemos ter toda essa wattagem e toda essa corrente.

Mas quem trabalha com cargas tão baixas, necessariamente utiliza combinação de caixas acústicas. Consequentemente, mais longo tende a ser o lance físico de cabos que se utiliza. Consequentemente, a resistência ôhmica do cabo pode passar a ser um fator importante.

Vejamos isso com um exemplo.

Imagine que tenhamos em mãos esse amplificador capaz de entregar a bagatela de 4.000 watts sobre carga de 2Ω . Com segurança.

Se desconsiderarmos a resistência do fio, podemos calcular a voltagem e a corrente sobre a carga, em regime de potência máxima, aplicando a lei de Ohm:

$$V_1 = \sqrt{4.000 \times 2} \cong 89,44 \text{ volts}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{4.000}{2}} \cong 44,72 \text{ ampères}$$

Claro que os cálculos anteriores são apenas teóricos. Então, vamos fazer um cálculo mais realista, levando em conta a resistência do cabo.

Para tanto, vamos admitir um lance físico de, digamos, 25,0 metros.

Como o cabo é de dois condutores, vamos considerar a ida e a volta, o que nos leva a 50,0 metros. Vamos admitir também uma bitola de cabo 14 AWG.

Sua resistência ôhmica é aproximadamente $9 \Omega/\text{Km}$. E cerca de $0,45\Omega$ para o lance de 25,0 metros, ida e volta.

Para sermos ainda mais realistas, vamos trabalhar com uma resistência indesejável total de $0,70\Omega$, incluindo também as resistências dos contatos elétricos envolvidos.

Vimos no capítulo 4 que as potências de saída de um mesmo amplificador são tão mais reduzidas quanto mais elevada é a carga. Só por isso, nossos 4.000 watts já são reduzidos com

a nova condição de carga, agora de $2,70\Omega$.

É razoável assumirmos que a queda é proporcional ao aumento da carga. O que nos leva a cerca de 2.960 watts.

Os novos valores de voltagem e de corrente passam a ser:

$$V_2 = \sqrt{2.960 \times 2,7} \cong 89,40 \text{ volts}$$

$$I_2 = \sqrt{\frac{2.960}{2,7}} \cong 33,11 \text{ ampères}$$

No caso anterior, e neste, as correntes elétricas percorrem a carga, sem divisões. Entretanto, se no primeiro caso toda a voltagem era desenvolvida sobre a carga, agora já não é mais assim. De fato, a carga de 2Ω e os $0,7\Omega$ de resistência do cabo e dos contatos formam um divisor resistivo.

Se fizermos as contas vamos verificar que dos 89,40 volts, apenas 66,22 volts ficam sobre a carga, e os restantes 23,18 volts ficam no cabo e nos contatos.

E podemos finalmente calcular a potência efetivamente entregue à carga de $2,0\Omega$:

$$P_2 = 66,22 \times 33,11 \cong 2.192 \text{ watts}$$

Observe esse número com cuidado, e reflita bem sobre ele. Veja que quase metade da potência já foi desperdiçada. Sem choro nem vela.

Antes de ser este um cálculo de efeito, é algo bastante realista.

Os usuários de amplificadores de milhares de watts e que trabalham com cargas tão baixas provavelmente se valem do expediente para economizar espaço.

E no caso das empresas de locação, além disso, para economizar transporte e mão de obra com montagem e desmontagem. O que é compreensível.

Será que esses profissionais estão se dando conta de como podem estar jogando fora seus preciosos e concentrados watts?

Mas também é de se supor que, por isso mesmo, amplificadores e caixas sejam usados no limite do limite. Pessoalmente, constatee vários sistemas de grande porte trabalhando com margens (?) para picos e transientes no entorno de 3,0 dB. O que é um absurdo do ponto de vista técnico.

E quando isso acontece, ainda há o agravante muito sério da compressão dinâmica, tratada no capítulo 4.

Claro, todos esses efeitos são cumulativos.

Neste trecho do trabalho vamos apenas lembrar que um dos principais efeitos da compressão dinâmica é o aumento das impedâncias das bobinas móveis dos falantes por ação

de aquecimento. E se levarmos isso em conta, os $2,7\Omega$ que usamos em nossos cálculos terão um valor real ainda maior, implicando em desperdícios de energia consideravelmente maiores. Com figuras típicas de 4,0 dB. Ou seja, dos 2.192 watts que sobraram dos 4.000 iniciais, menos da metade dos 2.192 watts estariam realmente disponíveis. No caso de 4,0 dB de perda, o valor seria exatamente 872 watts !!!!

Em outras palavras. Um dimensionamento muito bem feito, mas descuidado com esses aspectos de natureza nitidamente prática, pode acabar completamente comprometido.

Desse modo, considero que operar um sistema em condições tão rigorosamente críticas não é sequer uma prática de engenharia. Quanto mais uma boa prática de engenharia.

Ao contrário, é lidar de perto com situações de grande desperdício, e muitas vezes perigosas.

No caso específico dessas impedâncias muito reduzidas, a “técnica”, que aparentemente é do tipo força bruta, acaba sendo mesmo uma aberração.

Podemos dizer que quanto mais baixas são as impedâncias de carga, maiores serão os desperdícios de energia se todos os demais parâmetros forem mantidos inalterados.

Tendo em vista tudo o que foi exposto, recomendo aos usuários de amplificadores da nova tendência que avaliem bem seus resultados, fazendo cálculos com as impedâncias combinadas em série, de caixas acústicas e cabos, e ainda, levando em consideração a compressão dinâmica. E que façam os mesmos cálculos para outras alternativas de carga, como por exemplo com impedâncias de 4 e 8Ω . E comparem as coisas.

Tenho certeza que vão pintar muitas surpresas.

8.7.3 Os níveis dos Sinais 8.7.3.1 As Alternativas Possíveis Quando um amplificador de áudio é ligado a uma caixa acústica, há apenas três alternativas possíveis:

- amplificador com potência nominal de saída da mesma ordem de grandeza que a capacidade de potência da caixa
- amplificador com potência nominal de saída superior à capacidade de potência da caixa
- amplificador com potência nominal de saída inferior à capacidade de potência da caixa

Muitos entendem que a primeira alternativa é a mais equilibrada de todas. E por isso, dão preferência a ela.

Outros entendem que se a capacidade de suportar potência da caixa supera a potência nominal do amplificador, então esta é uma alternativa mais segura. Ainda que um pouco mais cara, pois o investimento adicional na caixa é apenas uma decorrência da escolha.

E ainda há os que preferem utilizar amplificadores cujas potências de saída são superiores às das caixas com que vão trabalhar.

Quem está certo e quem está errado? Provavelmente essa é uma pergunta muito capciosa, e para a qual não há uma resposta de algibeira.

Certamente cada alternativa tem seus prós e contras, e como era de se esperar, sua própria corrente de adeptos e críticos.

Conhecendo os prós e contras de cada caso, o engenheiro de áudio deve fazer sua opção, inclusive tendo em conta o fato de que muitas e muitas vezes o sistema que projeta será operado por leigos. Que podem cometer algumas “barbeiragens”.

O projetista também deve ter em mente que essa questão está intimamente relacionada com muitos aspectos, entre os quais, como foi desenvolvido o projeto do sistema, como ele será utilizado, a natureza dos programas reproduzidos, as características dos amplificadores e das caixas acústicas, além de muitos outros parâmetros.

Por exemplo, quando o fabricante de um amplificador de potência estabelece um valor nominal de potência elétrica de saída sobre uma determinada carga, válido para uma determinada resposta de frequência e dentro de uma certa distorção, está na verdade informando que nenhum de seus produtos com aquela especificação apresentará máxima potência de saída **inferior** ao valor especificado. Nas condições da própria especificação.

Segue que, provavelmente, serão encontrados produtos capazes de oferecer potências de saída superiores ao valor especificado. Às vezes pouco maior, às vezes consideravelmente maior. O que decorre de tolerâncias de componentes, de como as soldas são efetuadas, e também, do grau de conservadorismo do fabricante para estabelecer seus números.

Assim, comparar diretamente potência de saída de amplificador com capacidade de tratar potência de caixa acústica pode não ser algo tão direto e matemático quanto pode parecer à primeira vista.

Naturalmente, diferenças construtivas e de componentes também fazem variar as características de trato de potência de caixas acústicas.

Essas considerações básicas podem nos fazer pensar que para um dado caso, uma alternativa pode ser a melhor. Para outro, outra alternativa pode se mostrar mais interessante.

Pessoalmente creio que esse não é um jogo onde determinados profissionais estão certos, e outros errados.

8.7.3.2 Como os Amplificadores Podem Danificar as Caixas Acústicas Antes de prosseguir com isso, vamos rever as formas clássicas pelas quais as caixas acústicas são danificadas pelos amplificadores.

Sabemos que os sinais de áudio típicos possuem um nível médio de programa, válido para o longo prazo. Assim entendido qualquer período de tempo com duração superior a alguns

minutos.

É principalmente esse nível médio que determina o volume de som como o percebemos. Mas além dessa plataforma média, temos picos de 6,0 a 10,0 dB superiores aos valores médios. Ou mesmo picos mais elevados, que ocasionalmente podem atingir 20,0 dB.

A maioria desses picos contribui muito pouco para nossa percepção do nível de programa, seja ele voz ou música.

Entretanto, cada um desses picos é indispensável para que a reprodução seja precisa. Se estamos falando de picos de muito curta duração, então dificilmente eles podem provocar quaisquer danos nos alto-falantes.

Portanto, a potência excessiva que sujeita os falantes a danos são níveis médio de longo prazo mais elevados do que o alto-falante pode suportar, e transientes de duração maior do que os picos antes mencionados.

O excesso de potência pode pegar os falantes de duas formas diferentes.

Uma delas ocorre quando a potência excessiva é aplicada ao alto-falante por períodos de tempo consideravelmente longos.

O que provoca o aquecimento da bobina móvel até um momento em que uma de suas partes é literalmente destruída. Ou porque é fundida, ou porque torna-se rompida, ou ainda, porque pode literalmente pegar fogo. Este é o chamado colapso térmico.

A outra maneira destrutiva é o colapso mecânico. A potência excessiva faz o cone mover-se com excursões maiores do que o previsto pelo fabricante do alto-falante.

E nessas circunstâncias, o cone pode separar-se da bobina móvel, ou a bobina móvel pode escapar de sua forma, ou bobina móvel e forma podem separar-se da centragem do falante, ou ainda, o cone pode separar-se da suspensão externa.

Qualquer desses danos fará com que o alto-falante pare de funcionar. Entretanto, muitas vezes o dano só ocorre parcialmente, e seus efeitos não são imediatamente percebidos. Nesses casos, a tendência é de um agravamento progressivo do dano, e a falha então logo se manifesta em toda sua plenitude.

Potências excessivas também provocar um misto de colapso térmico com colapso mecânico. Por exemplo, quando um microfone cai no piso, o alto-falante tentará reproduzir a forma de onda.

Dado o extraordinário transiente gerado, a bobina móvel pode ser levada para fora do entreferro magnético. Descentrada, em seu caminho de volta poderá ficar travada antes de entrar no entreferro. O que também impedirá o movimento do cone. Nesse exato momento a bobina móvel ainda poderá ter continuidade elétrica. Contudo, sem poder se movimentar, e recebendo corrente elétrica, será facilmente sobreaquecida e se romperá, caracterizando, além

do colapso mecânico, que já existia, o colapso térmico.

Tudo isso se aplica a quaisquer tipos de alto-falantes de cone.

Subwoofers, woofers, midranges, tweeters e supertweeters.

Os drivers de compressão também estão sujeitos aos mesmos colapsos térmicos e mecânicos mencionados. E além disso, também estão expostos ao que se denomina fragmentação do domo. Trata-se de uma múltipla fratura do metal do qual é construído o diafragma, por potência excessiva que lhe impõe uma flexão além dos limites toleráveis.

8.7.3.3 Escolha Sua Alternativa Em que condições as rupturas dos falantes podem ocorrer? Em várias.

Por exemplo, quando níveis de pressão sonora muito elevados são exigidos, e para atingi-los, o sistema disponível precisa operar em condições subcríticas, ou mesmo críticas. Como as que vimos há pouco.

Por essas razões, o clipamento dos sinais pelos amplificadores torna-se excessivo. E os efeitos da compressão dinâmica se fazem presentes.

Infelizmente, quando ocorre o pior, nem sempre efeitos são relacionados com causas reais.

E ao que atribuir isso?

Níveis médios de longo prazo mais elevados do que os falantes podem suportar costumam ocorrer por falhas de projeto. Entre as quais as mais frequentes são

- subdimensionamento forçado por orçamentos muito apertados e, frequentemente incompatíveis com as reais necessidades, algumas vezes subavaliadas
- erro na previsão dos níveis de pressão sonora realmente necessários
- desprezo ou desconhecimento dos efeitos da compressão dinâmica
- engano na avaliação do PAG

Afora essas causas, e outras que têm origem no projeto, há também aquelas diretamente provocadas por falhas de operação, por acidentes, e até mesmo por deficiência de aparelhos de baixa qualidade.

Por exemplo, um operador que deixa de utilizar os recursos disponíveis de compressão por temer errar nos ajustes, pode levar os amplificadores a clipar picos e transientes, de forma que os níveis médios de programa tornam-se muito superiores ao que se teria com taxas de compressão ainda modestas.

Transientes de altas intensidades e longas durações também podem ser o resultado de acidentes, como um microfone que cai ao chão, ou de ruídos provocados por chaves de aparelhos que são ligados e desligados, e a seguir transferidos para as entradas dos amplificadores.

Os aparelhos de baixa qualidade, especialmente os amplificadores, podem não entregar os

níveis de potência especificados, o que também poderá significar clipamentos em níveis perigosos.

Portanto, esse conjunto de questões deverá ser bem avaliado pelo projetista. Ele deve procurar antecipar as condições operacionais que prevalecerão para o sistema ainda na fase de projeto. E em função do quadro esperado, estabelecer o que lhe parecer mais seguro.

Essa é uma das decisões sempre muito difíceis para qualquer projetista. Tipo se ficar o bicho come, se correr o bicho pega.

Efetivamente, se o projetista tende para o lado econômico, a possibilidade é de que os riscos aumentem. Por outro lado, reduzir riscos implica em investimentos adicionais em equipamentos.

As melhores soluções geralmente são felizes combinações de muito critério, com equilíbrio de opções técnicas. Os ingredientes que orbitam em torno disso, com grau de importância muito elevado, são a sensibilidade humana do projetista, sua experiência, e em muitos casos, a sorte.

Voltando agora para nossas três alternativas de potência de saída dos amplificadores em relação à capacidade das caixas, examinemos cada caso separadamente.

Quando os níveis de potência elétrica dos amplificadores regulam com a capacidade das caixas, reduz-se o potencial destrutivo destas, que poderia ser provocado por excesso de potência aplicada por tempo relativamente longo.

Por outro lado, esta é uma condição na qual o amplificador pode ser levado a distorcer por clipamento de picos em geral com certa facilidade, cujos subprodutos, de altas frequências e não presentes nos programas originais, não raramente saturam e destroem midranges de cones, drivers de compressão, e particularmente, tweeters e supertweeters.

E é comum encontrar casos de pessoas que julgavam estar do lado seguro e acabaram destruindo falantes mais rapidamente do que se tivessem operado com amplificadores bem mais potentes.

Assim, o que é realmente importante é evitar que o amplificador opere em regime de clipamento. O que está muito relacionado com a TPM (margem para picos e transientes) estabelecida na etapa do dimensionamento eletroacústico.

Se o amplificador é mais potente do que a caixa acústica, o risco de destruição por clipamento praticamente desaparece. Mas surge o risco do nível médio de programa superar potencialmente a capacidade da caixa acústica. Esse potencial pode ser disparado por falha de operação, determinada por acidente ou por inabilidade.

Contudo, quando o sistema é bem ajustado, e assim mantido ao longo do tempo, o problema deste risco é praticamente eliminado na base. E o excesso de potência fica “congelado”, como

se fosse uma reserva extra disponível apenas para ser usada durante picos e transientes superiores aos usuais, cujos limites são tipicamente de 10,0 dB em relação às médias de programa.

Finalmente, quando a potência de saída dos amplificadores está bem abaixo do que a capacidade das caixas, pode haver uma impressão aparente de que o sistema é muito seguro, já que a “reserva” de capacidade das caixas oferece a margem para “segurar” o que der e vier.

Mas isso é só aparência. Porque nessas condições, e assim que o sistema é algo exigido, os amplificadores passam a trabalhar com constância na região de clipamento. E os riscos a que ficam sujeitas as caixas são extraordinariamente elevados. Um dos subprodutos disso é que amplificadores com potência muito baixa em relação às caixas, muitas vezes são incapazes de suprir a EPR calculada na etapa de dimensionamento eletroacústico.

Muitos engenheiros de áudio experientes dão preferência a amplificadores cuja potência nominal de saída está entre 2 a 4 vezes acima que o valor nominal especificado para a caixa acústica, watts RMS para períodos longos.

Isso quando a situação assim o permite.

Mas o engenheiro experiente também sabe que não deverá usar o amplificador além de um limite, determinado pela própria caixa acústica. A potência excedente constitui a reserva capaz de processar picos de programa de duração muito curta, sem distorções por clipamento. O que as caixas acústicas geralmente manipulam sem problemas.

Mas isso também não é tão seguro quanto pode parecer. De fato, quando a potência do amplificador supera a capacidade das caixas, indivíduos menos experientes são tentados a usar a reserva ao invés de mantê-la como tal, mesmo quando não há necessidade, colocando em risco as caixas acústicas.

Efetivamente, estas podem ser destruídas por amplificadores muito potentes, o que acaba sendo invariavelmente uma parte ponderável das estatísticas.

Outro problema dos sistemas com amplificadores muito potentes em relação às caixas que alimentam, é que as quedas de microfones são veneno puro para os falantes. E nem os artistas mais experientes podem evitar acidentes como estes, que costumam destruir as caixas por colapso mecânico.

As realimentações acústicas e a microfonia também são fatores potencialmente destrutivos para as caixas, por efeito de colapso térmico. Isso se aplica a quaisquer das alternativas, mas especialmente quando os amplificadores são de elevada potência em relação às caixas.

De modo geral, para aplicações profissionais não são utilizados amplificadores com potências de saída inferiores às capacidades das caixas acústicas.

Para concluir, podemos dizer que não há alternativas absolutamente seguras.

O que acabamos de ver são noções básicas que se aplicam a casos gerais. E essas três alternativas não podem ser pensadas isoladamente, sem o concurso benéfico dos processadores de sinal, principalmente dos compressores, dos limitadores e até dos equalizadores.

Por outro lado, além dessas alternativas básicas há ainda duas fórmulas que as complementam. E com grande proficuidade.

São os sistemas multivias, discutidos adiante neste capítulo, e os sistemas processados, dos quais já falamos no capítulo 4.

8.8 PENSANDO NO SISTEMA COMPLETO

8.8.1 A Lógica do Encadeamento Quando nos dedicamos a pensar em como interligar todos os equipamentos da cadeia de áudio ainda na fase de definição da arquitetura de sistema, devemos considerar que há sempre uma ordem lógica no encadeamento sequencial dos componentes profissionais. A lógica também resulta da ordem de interligação, que geralmente está baseada no nível crescente dos sinais elétricos ao longo da sequência.

Para melhor nos situarmos em relação a isso, devemos ter em mente, de partida, a classificação dos circuitos em função dos níveis dos sinais, como nos mostra a tabela 8.3.

Trabalhar com um exemplo nos dará uma visão mais concreta da lógica do encadeamento.

Imaginemos um pequeno sistema de reforço, projetado para voz, utilizando um só microfone, que sampleia sinais num campo acústico médio de 70 L_p. Foi projetada uma só caixa acústica, e o nível de potência dimensionado é 100 watts RMS, aí incluída a TPM de 10,0 dB.

A figura 8.57 mostra uma primeira tentativa de configuração deste sistema.

A escolha da caixa acústica já foi definida na etapa do dimensionamento eletroacústico, quando foram estabelecidos os seguintes parâmetros: relação de diretividade (Q), ângulos de cobertura horizontal e vertical ($\angle_{CH}$ e $\angle_{CV}$), e sensibilidade axial.

Já sabendo quais são as escolhas dos profissionais, vamos escolher uma caixa acústica capaz de trabalhar com programas contínuos de 50 watts.

Também já sabemos que a EPR é 100 watts RMS, que será a potência de saída nominal de nosso amplificador de potência.

Incluímos em nosso sistema um pré-amplificador de microfone, pois em geral o nível de saída desses transdutores não é suficientemente elevado para excitar diretamente amplificadores de potência.

A escolha dos microfones pode ser feita facilmente com base nas informações pertinentes discutidas no capítulo 4. Por isso escolhemos um microfone cujo nível de potência é - 60,0

dBm para campo acústico de 94 L_p.



figura 8.57 primeira tentativa de interligar um sistema completo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como o campo acústico em nosso exemplo é apenas 70 L_p, isto é, 24,0 dB abaixo do campo acústico de 94 L_p, tomado como referência para a especificação do nível de potência de nosso microfone, ao invés dos - 60,0 dBm, em sua saída teremos apenas - 84,0 dBm (- 60,0 dBm - 24,0 dB).

Os 100 watts que precisamos correspondem a + 50,0 dBm, e nosso nível de programa, 10,0 watts (a fim de assegurar TPM = 10,0 dB) corresponde a + 40,0 dBm.

Então precisamos de ganho total de

$$40,0 \text{ dBm} - (-84,0 \text{ dBm}) = 124,0 \text{ dB}$$

Escolhemos um amplificador com potência nominal de saída de 100 watts (+ 50 dBm) e ganho de 60,0 dB, e um pré-amplificador de microfone com nível nominal de saída de + 8,0 dBm, e ganho de 85,0 dB.

Para que tenhamos nosso nível médio de programa, o amplificador deverá operar entregando apenas + 40,0 dBm.

Para tanto, e considerando o ganho de 60,0 dB, ele deverá ser alimentado na entrada com - 20,0 dBm.

Como o microfone irá gerar - 84,0 dBm num campo acústico de 70 L_p, esse será o nível de entrada no pré. E como seu ganho é 85,0 dB, ele produzirá nível de saída de + 1,0 dBm. Mas só precisamos de - 20,0 dBm.

Se usarmos o controle de ganho do pré, poderemos impor atenuação de 21,0 dB, e o nível de saída torna-se - 20,0 dBm. Esses níveis são o que mostra a figura 8.58.

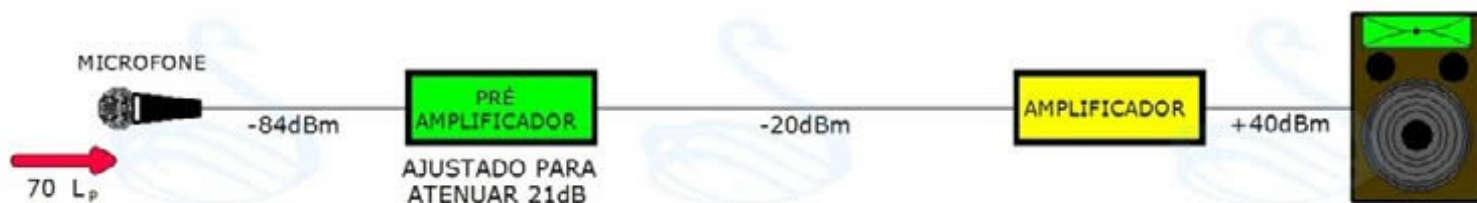


figura 8.58 primeiros cálculos dos níveis através do sistema acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isto serve bem apenas para ilustrar como os cálculos são feitos. E por isso mesmo não se pode fazer assim na prática, ao menos se qualidade é um dos objetivos.

A razão é que se trabalharmos com atenuação tão elevada no pré (e isso vale para mixers), estaremos reduzindo os mesmos decibels da relação sinal/ruído (no mixer) que obteremos.

Portanto, ajusta-se o ganho para uma atenuação suficiente apenas para que possamos ter a TPM projetada, e o restante da atenuação deve ser obtida com atenuadores inseridos em série no circuito.

Em nosso caso, para TPM de 10,0 dB, a saída no pré deverá ser

$$+ 8,0 \text{ dBm} - 10 \text{ dB (TPM)} = - 2,0 \text{ dBm}$$

Como já tínhamos calculado, com entrada de - 84,0 dBm e ganho total de 85,0 dB, a saída do pré será + 1 dBm, e para que tenhamos - 2 dBm é preciso atenuar apenas 3,0 dB no próprio pré.

Para que tenhamos os - 20,0 dBm na entrada do amplificador é preciso impor 18,0 dB de atenuação adicional. O que deve ser provido com a inserção de um atenuador entre o pré e o amplificador.

Este atenuador pode ser do tipo U, ou π , como discutido anteriormente.

E nosso sistema fica finalmente com o arranjo e níveis da figura 8.59.

Esta simples manobra nos permite trabalhar com relação sinal/ruído 18,0 dB acima do que trabalharíamos no caso da figura 8.58.

Podemos estabelecer o seguinte critério: ajusta-se o nível de cada componente para a mais alta saída elétrica que a TPM desejada permitir.

Sempre o mais cedo possível. Isto é, quanto mais próximo possível do microfone.

Sempre se inicia pelo lado do microfone até chegar ao amplificador de potência, onde deverão ser feitos eventuais ajustes finais de ganho do sistema.

Onde necessário, deve-se usar atenuadores com os valores de atenuação corretamente calculados.

As figuras 8.57 a 8.59 representam um caso simples, mas básico.



figura 8.59 os níveis definitivos através do sistema, para maximização da relação S/R
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne E por isso mesmo, as regras que acabamos de ver, e que lhe são aplicáveis, também o serão para quaisquer outras configurações, por mais complexas que sejam, como por exemplo a da figura 6.60, do capítulo 6.

Assim, vemos que as escolhas dos aparelhos também dependem dos seus respectivos ganhos.

8.8.2 Sistemas Convencionais Até agora não levamos em conta a interligação de divisores de frequência em quaisquer de nossas considerações.

Mas como vimos anteriormente, quando se pretende trabalhar com ampla resposta de frequência, é preciso utilizar diferentes tipos de falantes combinados.

Como subwoofers, woofers, conjuntos drivers/cornetas e supertweeters.

Como cada um desses tipos de falante é “especializado” num determinado segmento do espectro de frequências, devemos entregar a cada um deles apenas o particular segmento do espectro no qual ele é especializado.

Quem se incumba de segmentar o espectro de frequências completo em segmentos é exatamente o divisor de frequências.

Todas as técnicas de divisão de frequências utilizam filtros.

Nos sistemas mais simples, geralmente de menor porte, o divisor utilizado é passivo, isto é, não usa componentes ativos como transistores e circuitos integrados.

Portanto, os filtros são construídos com capacitores e indutores. Os divisores passivos são sempre inseridos entre amplificador de potência e falantes, com a configuração básica da figura 8.60.

Nesses casos, os divisores passivos são parte integrante das caixas acústicas.

De modo que bastará interligarmos o amplificador nas caixas, com os cuidados já discutidos anteriormente.

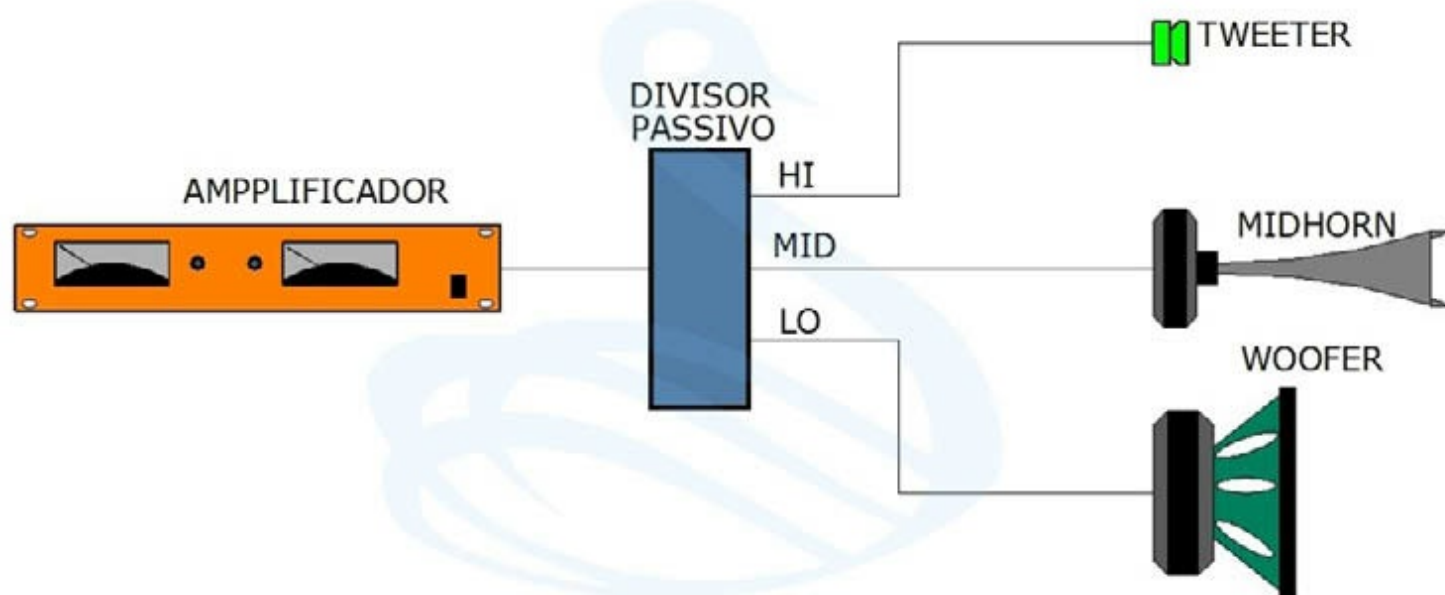


figura 8.60 divisor passivo de frequências acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

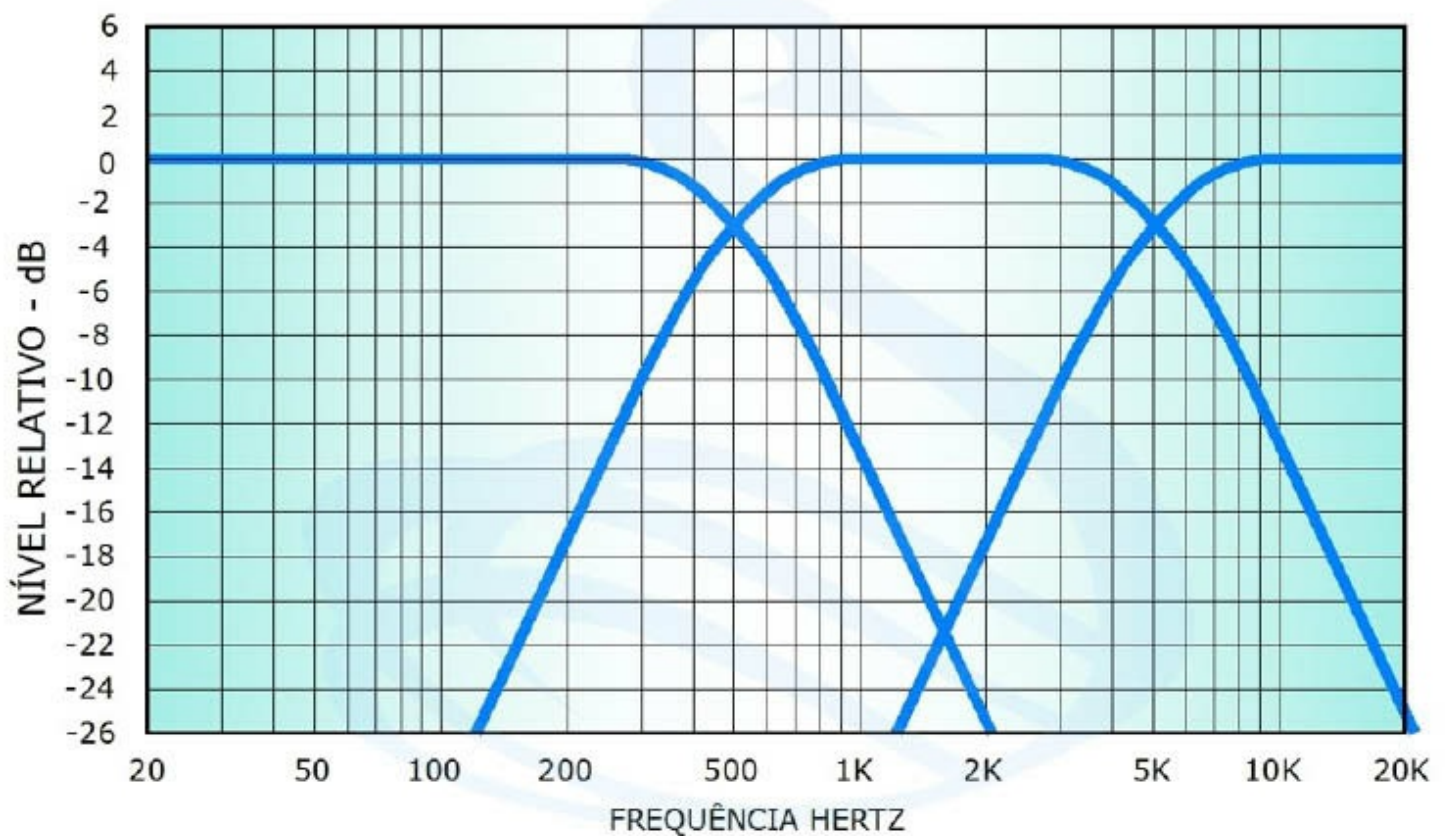


figura 8.61 resposta de frequência de divisor passivo de frequências de 3 vias, com taxa de atenuação de 12,0 dB/octava acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 8.61 ilustra o que podemos esperar de um divisor passivo, no caso deste exemplo, um divisor de 3 vias. Isto é, o espectro é trabalhado por 3 filtros. Um passa baixas, um passa bandas e um passa altas.

As baixas frequências, obtidas na saída do filtro passa baixas, serão entregues ao woofer. As médias frequências, presentes na saída do passa bandas serão entregues ao midrange. E finalmente, as altas frequências, obtidas na saída do filtro passa altas, serão encaminhados ao tweeter.

Os divisores passivos podem ser projetados para quaisquer frequências de transição entre os filtros, e também, com taxas de atenuação de 6,0, 12,0, 18,0 e 24,0 dB/octava, ou mais, se desejado.

Há também inúmeros procedimentos de projeto desses divisores, que resultam em comportamentos diferenciados.

De modo geral é desejável que todos os falantes tenham impedâncias nominais semelhantes. Com o que os divisores são projetados para refletir ao amplificador aquele mesmo valor de impedância.

Se por um lado, utilizar divisores passivos após o amplificador possibilita trabalhar com os falantes dentro de suas próprias especialidades, facilitando as interligações, também há algumas dificuldades, com as quais se tem que conviver.

Entre elas estão as seguintes:

- desperdício de potência elétrica
- falta de melhor adaptação de impedâncias
- degradação do fator de amortecimento do sistema
- imposição de distorção de fases
- alteração das características de diretividade dos falantes
- redução da margem operacional

Vejamos separadamente cada um desses tópicos.

8.8.2.1 Desperdício de Potência Elétrica Por serem construídos com componentes passivos, os divisores passivos de frequência consomem uma parcela da potência elétrica total produzida pelos amplificadores, que assim não chega aos falantes. Por essa razão, essa parcela de potência absorvida pelos divisores é denominada perda por inserção.

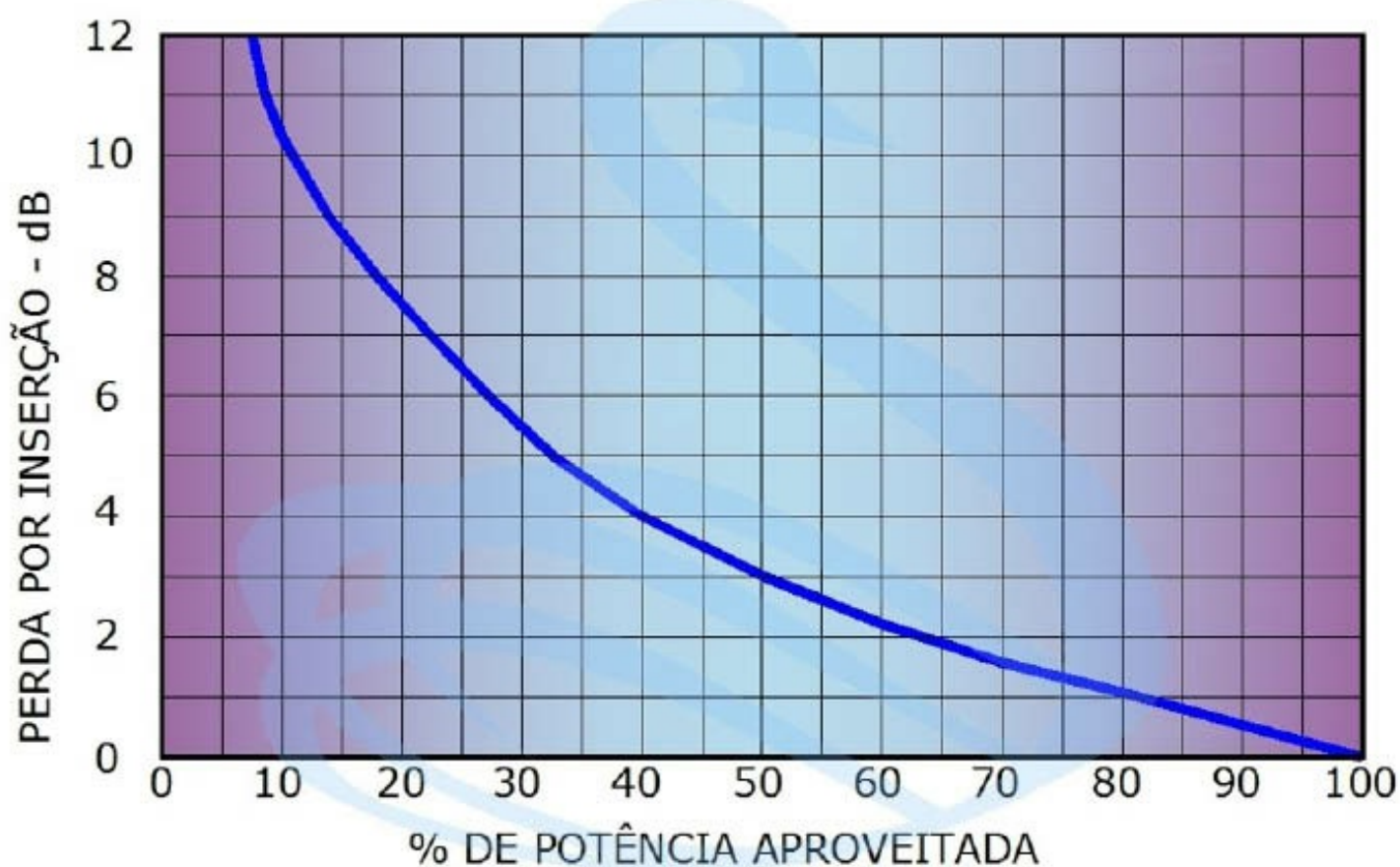


figura 8.62 percentual de potência elétrica útil desperdiçado, em função de vários níveis de perda por inserção impostas pelos divisores de frequência passivos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 8.62 mostra as parcelas de potência elétrica de um amplificador operando a 20,0 dBW que efetivamente acabam chegando às caixas acústicas em função dos vários níveis de perdas por inserção impostos pelos divisores de frequência passivos.

8.8.2.2 Falta de Melhor Adaptação de Impedâncias Os divisores passivos são projetados para trabalhar com uma determinada impedância. Geralmente o menor valor do módulo de impedância que o falante apresenta. E esta também costuma ser sua impedância nominal especificada.

Por outro lado, o módulo de impedância de um falante qualquer varia consideravelmente

ao longo de seu espectro de trabalho.

O que significa que, por praticamente todo o espectro de áudio, divisor e falantes não estarão trabalhando sempre de acordo com as condições tomadas como base para efeito de projeto dos divisores.

À medida em que as impedâncias passam a ser desiguais, também alteram-se as frequências de transição e o Q, ou fator de seletividade do filtro. E com isso, são alteradas por tabela a resposta do filtro e seu amortecimento.

É por essa razão que divisores passivos de frequência mal projetados apresentam respostas de frequência muito pobres, e comportamento de “ringing” diante de transientes.

8.8.2.3 Degradação do Fator de Amortecimento do Sistema A expressão 4.22 do capítulo 4 é uma representação matemática inequívoca do fator de amortecimento de um amplificador.

A simples inserção de uma outra impedância entre a impedância de saída do amplificador e as impedâncias dos falantes já é o suficiente para degradar o fator de amortecimento do sistema, que assim passa a exercer menos controle sobre os movimentos inerciais dos cones dos falantes. Com as consequências sônicas que isso implica.

8.8.2.4 Imposição de Distorção de Fases Vimos anteriormente que quando os sinais passam por filtros, há sempre uma rotação de fase imposta aos sinais. Em virtude disso, há sempre uma distorção, denominada distorção de fases, que pode ser sonicamente muito incômoda em divisores de frequências de projetos deficientes.

De fato, em sua saída dos filtros, os sinais precisam de um certo tempo para que se recomponham. Isto é, para que atinjam seu estado de regime. Mas esse tempo, determinado pelas características dos componentes passivos, não é o mesmo para todas as frequências. E por isso, uma vez reconstituídos os sinais, suas formas de onda podem acabar muito diferentes do que eram originalmente. Esse mal tem remédio, chamado filtro passa tudo. Mas a técnica raramente é empregada nos divisores passivos de frequência dos quais estamos falando.

8.8.2.5 Alteração das Características de Direcionalidade dos Falantes Dependendo do projeto do divisor passivo de frequências, as características de direcionalidade dos falantes podem ser mais ou menos alteradas.

8.8.2.6 Redução da Margem Operacional Esse inconveniente está mais associado à arte do que à tecnologia. Onde entra a música. De fato, a maioria dos programas musicais possui muito mais conteúdo de energia em baixas frequências do que nas médias ou altas.

Quando os programas possuem material de baixas e altas frequências, simultaneamente, a

demanda de energia em baixas frequências domina, e pode requerer tanta potência do amplificador que pouco sobra para as altas. O resultado direto disso é o clipamento das formas de onda de altas frequências.

Isso é realmente uma forma de limitar a margem operacional do sistema.

Por todas essas razões, os sistemas de médio e grande porte não utilizam divisores passivos. Porém, quando a opção é esta, é preciso considerar não só a perda por inserção correspondente, mas também, que o divisor deverá suportar, com folgas, a potência máxima de saída do amplificador.

Para quem tiver interesse específico nos divisores passivos e seus projetos, existe farto material a respeito, inclusive em obras escritas em português.

8.8.3 Sistemas Multivias

Na edição anterior deste livro, que comecei a escrever em 1.987, dizia eu que a possível desvantagem da multiamplicação era que o processo, naquela ocasião, ainda era relativamente caro.

Atualmente, isso não só é falso, como de fato a multiamplicação é um processo de fato mais barato do que a configuração convencional. Especialmente nos sistemas de maior porte.

A figura 8.63 apresenta uma típica configuração de sistema multiamplicado que, sem dúvida, é uma alternativa tecnicamente muito superior à do divisor passivo intercalado entre amplificador e falantes.

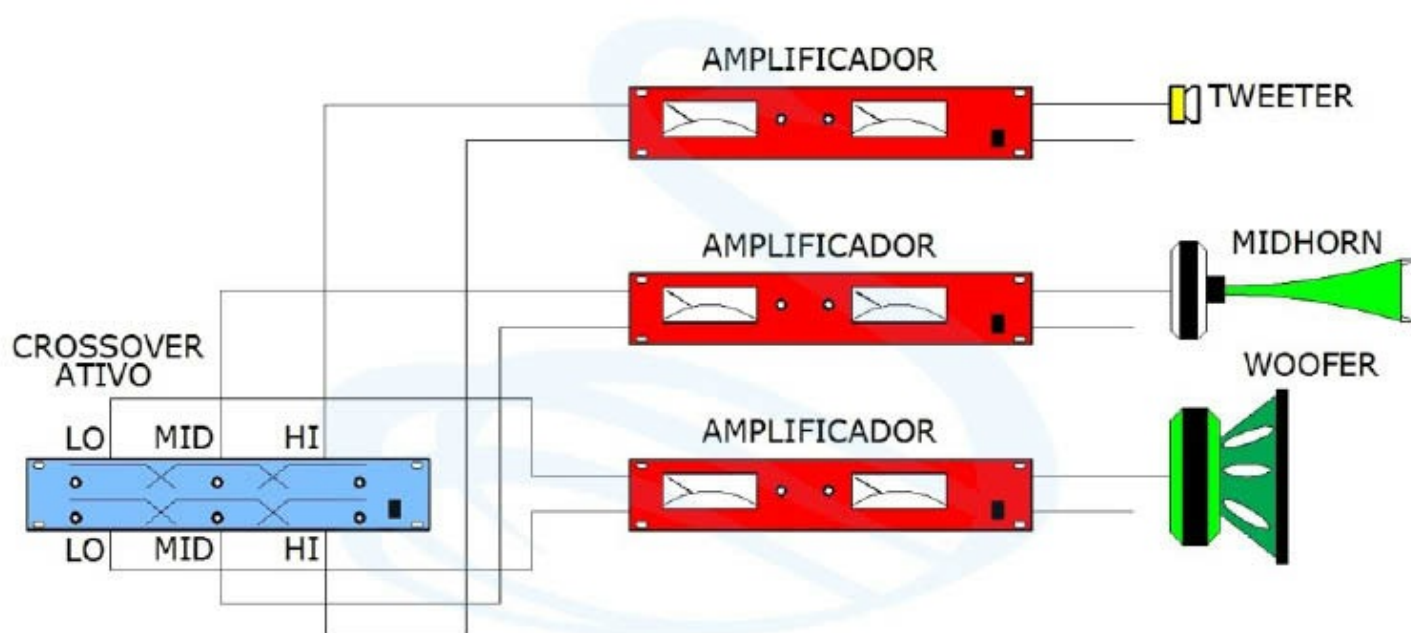


figura 8.63 configuração típica de sistema multiamplicado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
No caso da multiamplicação, o aparelho responsável pela separação do espectro de frequências em segmentos também é um divisor de frequências, mas agora inserido na cadeia de áudio antes dos amplificadores. Razão pela qual ele é denominado divisor de frequências de nível de linha.

O aparelho em si tanto pode ser passivo, quanto ativo. Nos dois casos as interligações são similares. O crossover ativo, ou crossover eletrônico, é aquele já discutido no capítulo 4.

A entrada do aparelho recebe o sinal de áudio que se quer segmentar em partes. E os segmentos de espectro são obtidos em suas saídas.

De modo que a saída de baixas frequências é ligada à entrada do amplificador, ou amplificadores de baixas frequências, a saída de média frequências é ligada à entrada do amplificador, ou amplificadores de médias frequências, e assim por diante.

Portanto, cada saída do crossover ativo alimenta um ou mais amplificadores, que reproduzirá ou reproduzirão apenas o correspondente segmento de espectro recebido.

O crossover da figura 8.63 é de 3 vias. Mas os sistemas multiamplicados podem usar duas, três, quatro, cinco ou mais vias.

As vantagens da multiamplicação são o inverso do que eram as desvantagens dos divisores passivos intercalados entre os amplificadores e as caixas acústicas.

Inicialmente, não há qualquer perda ou desperdício de potência, já que os amplificadores trabalham energizando diretamente os falantes.

O problema de adaptação de impedâncias também não existe porque, tanto os divisores passivos de linha, quanto os ativos, são interligados em nível de linha, como se fossem quaisquer outros aparelhos.

Como não há introdução de impedâncias entre as saídas dos amplificadores e os falantes, os fatores de amortecimento dos amplificadores são integralmente preservados.

Embora a rotação de fases seja algo físico, e portanto inevitável com os filtros, é sempre bem mais fácil fazer a correção nos casos de crossovers eletrônicos. Isto porque esses aparelhos trabalham em nível de linha. E por essa razão, os sistemas multiamplicados são muito menos sujeitos às distorções de fase do que os convencionais.

Evidentemente, sem filtros antes dos falantes, não há o que lhes alterar as características de direcionalidade.

Ao contrário dos sistemas convencionais, nos multiamplicados é possível trabalhar com qualquer nível de potência por via. Basta que adicionemos amplificadores. Assim, os sistemas multiamplicados de fato aumentam a margem operacional, sem quaisquer limitações.

Além dessas vantagens, os sistemas multiamplicados oferecem uma outra, que é decorrência de sua própria configuração.

Nos sistemas convencionais, quando ocorre clipamento de baixas frequências no amplificador, os subprodutos harmônicos de ordem elevada são filtrados pelo divisor e entregues aos falantes que trabalham com frequências mais elevadas. Isso não só é perigoso para os falantes, como também o resultado sônico é facilmente identificado.

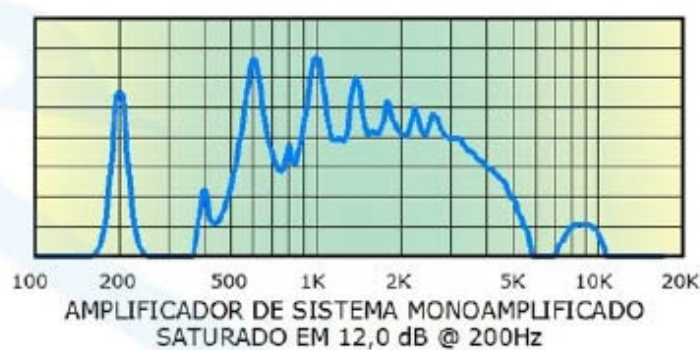
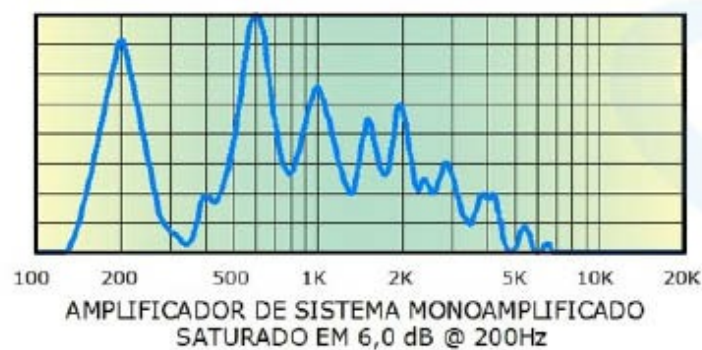


figura 8.64 espectro para sistema convencional (acima) e para sistema biamplificado, quando o amplificador trabalha com sobrecarga de 6,0 dB em 200 Hertz acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

Já nos divisores passivos e ativos com nível de linha, clipamentos de baixas frequências e os harmônicos de ordem mais elevada ficam restritos aos falantes de baixas frequências, de vez que não há filtros nem amplificadores de outras frequências adiante dos de baixa frequência.

Dessa forma, como os woofers e subwoofers apresentam uma natural dificuldade para reproduzir esse material com frequências mais altas, elas são muito menos audíveis. E fora isso, os falantes de frequências mais elevadas ficam relativamente muito mais protegidos do que nos sistemas convencionais.

Os efeitos de clipamentos exagerados para as alternativas de sistemas convencionais e multiamplicados podem ser comparados diretamente.

Na figura 8.64 temos o espectro para um sistema convencional na parte superior, e para um sistema biamplificado na parte inferior, sendo que para os dois casos o amplificador é levado à saturação, com sobrecarga de 6,0 dB em 200 Hertz.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 9 interferências eletromagnéticas (IEM) e defesas



Conteúdo do capítulo 9

9. INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA (IEM) E DEFESAS

9.1 O QUE É A INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA (IEM) 9.2 CONDIÇÕES PARA QUE HAJA IEM

9.2.1 Modelo Elementar 9.2.2 Fontes de Ruído Elétrico 9.2.3 O meio de Propagação 9.2.4 O Receptor

9.3 ACOPLAMENTOS

9.3.1 Impedância Comum 9.3.1.1 A Visualização do Fenômeno 9.3.1.2 Impedância Comum e o Mundo Real 9.3.2 De Campo Elétrico 9.3.3 De Campo Magnético 9.3.4 Acoplamento Direto 9.4 A VÍTIMA

9.4.1 Susceptibilidade 9.4.2 Imunidade

9.5 DESCARGA ELETROSTÁTICA (DEE) 9.5.1 Produção de Eletricidade Estática 9.5.2 Voltagens da DEE

9.5.3 A Descarga e Como Evitá-la

9.6 IDENTIFICANDO PROBLEMAS

9.6.1 Acoplamento Direto 9.6.1.1 Ondas Quadradas 9.6.1.2 Pulsos e sua Detecção
9.6.1.3 Modo Comum ou Diferencial ?
9.6.2 Acoplamento Capacitivo 9.6.3 Acoplamento Indutivo 9.6.4 Acoplamento por
Impedância Comum 9.6.5 Ruídos Gerados nos Aparelhos e Interligações 9.7

TÉCNICAS DE COMBATE

9.7.1 Escolhas dos Aparelhos 9.7.2 Interligações e Cabos 9.7.2.1 Cuidados Adicionais
9.7.2.2 Os Pares Torcidos e a Origem de Sua Eficácia 9.7.3 Blindagem e Algumas
Técnicas 9.7.3.1 Uso de Bastidores 9.7.3.2 Compartimentalização 9.7.3.3 Blindagem
de Faraday 9.7.4 Aterramento
9.7.4.1 Terminologia 9.7.4.2 Porque Aterrar os Sistemas de Áudio ?
9.7.4.3 Simbologia 9.7.4.4 Lifts de Terra 9.7.4.5 Esquemas de Aterramento 9.7.4.6
Aterramento Técnico 9.7.4.7 Limitações dos Sistemas de Aterramento 9.7.4.8
Ligações Para a Terra 9.7.4.9 O Valor da Impedância Para a Terra 9.7.4.10 Eletrodos
Tipo Haste 9.7.4.11 Medição da Resistência Para a Terra 9.7.5 Técnicas de Energia
9.7.5.1 Fontes de Ruído e Acoplamento 9.7.5.2 Implementação 9.7.6 Infraestrutura
9.7.7 Técnicas de Isolação 9.7.7.1 Transformadores 9.7.7.2 Choque de Modo
Comum 9.7.7.3 Acopladores Óticos 9.7.7.4 Balanceamento 9.7.7.5 Aterramento
Seletivo 9.7.7.6 Contas de Ferrite 9.7.8 Separação e Orientação de Bastidores 9.7.9
Técnicas de Filtragem 9.7.9.1 Filtros Acessórios 9.7.9.2 Modificações de Circuito
9. INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA (IEM) E DEFESAS

9.1 O QUE É A INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA (IEM) Interferência eletromagnética, ou IEM, é o efeito audível resultante de ruídos acoplados a um sistema de sonorização por quaisquer formas eletromagnéticas.

Se esta definição for interpretada ao pé da letra, então, não teremos interferências quando os ruídos acoplados não forem audíveis.

A ideia central é esta mesmo.

E ela é uma decorrência direta do fato de que, por razões físicas, simplesmente não podemos eliminar por completo todos os ruídos de um sistema. O que podemos é controlá-los, e reduzi-los até o ponto em que eles não sejam mais audíveis.

Certamente ainda não estamos tão preocupados quanto deveríamos com os efeitos da IEM.

Mas o problema é de fato muito mais sério do que a maioria de nós julga. Creio que posso lançar um pouco de luz sobre esse aspecto ainda nebuloso ao citar um dado que considero relevante. Metade dos sistemas de som instalados nos Estados Unidos e Canadá sofre do

problema!

Certamente diversos ruídos de acoplamento sempre estiveram presentes em nossos sistemas. Porém, mascarados pelos ruídos produzidos pelos próprios dos gravadores convencionais de fita.

Mas agora, os equipamentos digitais de última geração, com suas gamas dinâmicas maravilhosas, vão tornando os ruídos de IEM cada vez mais dolorosamente audíveis.

Há ainda um outro ângulo envolvido, para o qual gostaria de chamar a atenção dos leitores. A presença de fortes campos magnéticos de baixas frequências sempre se fez notar no interior de nossos prédios e instalações. Como os produzidos pela fiação de energia comercial e por eletrodomésticos. O que de fato remonta aos primórdios da era da energia elétrica.

Entretanto, com a única exceção das emissoras de rádio e de TV, que habitualmente sempre abrigaram transmissores em suas plantas, não conhecíamos até muito pouco tempo atrás a presença de fortes campos magnéticos de altas frequências na intimidade de nossos habitats.

Realmente a tecnologia digital reverteu esse quadro.

Por exemplo, agora já são encontrados equipamentos nas prateleiras das lojas, que individualmente tratam simultaneamente sinais de áudio analógicos e digitais, sinais de vídeo e de radiofrequência, sinais de controle e outros.

Ora, os campos eletromagnéticos produzidos por esses aparelhinhos aparentemente inofensivos podem cobrir bandas de frequências que começam abaixo de 100 Hz e se estendem para mais de 300 kHz. Fácil, fácil.

Outra coisa que temos que encarar sem medo é a crescente poluição do espectro de frequências, especialmente em nossas grandes cidades.

Não aquela poluição que se alega que já era um fato quando o rádio e a TV ganharam popularidade. Mas aquela que só vem acontecendo realmente há pouco tempo. Consequência da popularização massiva e da proliferação de inúmeros dispositivos e artefatos bem atuais.

Exemplos? Telefones celulares, telefones sem fio de pequeno, médio e longo alcance, computadores de todas as espécies, displêis de vídeo de todos os gêneros, fontes de alimentação chaveadas, já tão comuns até mesmo em amplificadores automotivos, e diversos outros geradores de radiofrequência que poderiam ser mencionados à exaustão.

Incluindo-se aí toda a sorte de brinquedos hi-tech rádio controlados.

É muito importante lembrar que cada um desses itens, sozinho, pode produzir campos eletromagnéticos consideráveis, mesmo em comparação com os gerados por equipamentos elétricos e eletrônicos de potência relativamente elevada.

Muitos são os que têm reportado a degradação da qualidade sônica de seus sistemas, novos e antigos, imaginando que o débito deve ir à conta dos aterramentos pouco apropriados ou

nada eficientes com que contam. O que esses indivíduos nem sempre se lembram é que, se de um momento para outro as condições de IEM passam a ser mais agressivas, os remédios que as combatem também precisam ser mais potentes e eficazes.

Os problemas de IEM atingem indistintamente pequenos sistemas não permanentes, que só existem por horas, até serem desmontados, e grandes instalações permanentes, cuidadosamente engenheiradas e assistidas por enormes e caríssimos sistemas de aterramento técnico.

E claro, toda uma gama de sistemas intermediários, situados entre esses dois extremos.

Muitos sistemas sofisticados, com aterramentos que utilizam imensas quantidades de cobre, eletrodos de terra muito elaborados e uma parafernália de hardware de suporte, sem falar em condicionadores de linha dos tipos mais variados, frequentemente são portadores de ruídos facilmente audíveis. E quando isso acontece, seus idealizadores coçam a cabeça e titubeiam para explicar os “fracassos” ?!

Os problemas de IEM também podem ser consideravelmente interativos. Isto é, uma simples reconfiguração de sistema, como a substituição ou retirada de um cabo, pode acarretar mudanças enormes e até imprevisíveis nos níveis de ruído.

Vejo em meu cotidiano que, no afã de aliviar problemas de ruídos, muitas vezes as boas práticas de engenharia são violadas. Os sistemas assim tratados tornam-se potencialmente perigosos, expondo seus operadores a riscos de vida por ação de choques elétricos, e aumentando as possibilidades de ocorrência de incêndios.

Entre todos os circuitos, os que estão mais sujeitos à captação de interferências são os de microfones. Isso acontece em função do baixo nível de voltagem que caracteriza esses circuitos.

Consequentemente, cabos e conectores de microfones devem ser blindados para evitar captação eletrostática.

Microfones dinâmicos, cápsulas magnéticas de toca-discos, captadores de guitarras, de piano e quaisquer outros transdutores que utilizam bobinas são sensíveis a campos magnéticos externos, como os gerados por reatores de lâmpadas fluorescentes, de transformadores, e outros.

Por isso eles precisam de blindagem, muitas vezes especiais, e de preferência, devem operar fisicamente afastados desses campos.

A interferência externa inclui os ruídos gerados por fiação em geral, principalmente a de energia, interferências de radiofrequência, como as produzidas por transmissores AM, FM, TV, faixa do cidadão, e outros. Eletrodomésticos como barbeadores elétricos e liquidificadores, além de dimmers, também são fontes de interferência.

9.2 CONDIÇÕES PARA QUE HAJA IEM

Para que haja IEM é preciso que haja uma **fonte geradora de ruído** com condições de interferir, um **meio** ou caminho através do qual o ruído possa viajar, e um **receptor** susceptível à captação do ruído que está sendo gerado, considerada sua natureza e níveis.

Compatibilidade eletromagnética (CEM) é a condição caracterizada pela ausência de um ou mais desses três elementos, quer por motivos naturais, quer por imposição deliberada.

9.2.1 Modelo Elementar O modelo elementar com o qual vamos trabalhar é o da figura 9.1. A seguir, estudaremos cada um dos três elementos separadamente. A visão desse simples modelo já nos sugere que o controle de ruído pode ser feito através de uma das formas a seguir apontadas, ou de suas combinações: • supressão do ruído na fonte • eliminação ou redução do meio de propagação • aumento da imunização do receptor contra o ruído

- supressão do ruído na fonte
- eliminação ou redução do meio de propagação
- aumento da imunização do receptor contra o ruído



figura 9.1 modelo mostrando os três elementos fundamentais da interferência eletromagnética acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

9.2.2 Fontes de Ruído Elétrico As principais fontes de ruído elétrico são:

- redes de energia CA de alta e de baixa voltagem
- transmissores de RF em geral
- estações de rádio e de TV, transceptores de polícia, de bombeiros, de ambulâncias, de táxis e de veículos privados, radioamadores, serviços limitados privados de comunicação via rádio, transmissões de dados e radiocomunicação do serviço de telefonia, inclusive de telefones celulares, telefones sem fio, radares e outros similares
- cargas indutivas comutadas, a exemplo de motores em geral, equipamentos de ar condicionado e outros
- tiristores e demais dispositivos semicondutores utilizados em comutação
- lâmpadas fluorescentes e neon
- ignições automotivas
- equipamentos de solda elétrica e inúmeros processos industriais de uso comum
- computadores, eletrodomésticos em geral e monitores LCD
- calculadoras e agendas eletrônicas
- equipamentos eletrônicos portáteis, inclusive brinquedos
- eletrônica digital instalada em automóveis
- equipamento eletrônico médico-hospitalar de última geração
- sistemas com comutação eletrônica de alarmes e de segurança
- portões automáticos rádio controlados

Entre as fontes secundárias de ruído, as seguintes podem ser incluídas:

- voltagens de origem química provenientes de eletrólitos existentes em conexões de solda e outras
- ruídos térmicos de resistores e de outros componentes
- voltagens térmicas existentes entre metais diferentes

Na prática, muitas dessas fontes, principais e secundárias, dificilmente causam problemas, pois não possuem a intensidade de campo suficiente para interferir nos locais onde são instalados os sistemas de áudio. O que não é razão para que simplesmente as ignoremos.

O mais importante dos fatores que estabelece a capacidade de interferência de uma fonte de ruído é sua intensidade de campo. Define-se intensidade de campo como

$$IC = 0,173 \frac{\sqrt{P}}{D} \quad (9.1)$$

sendo

- P a potência radiada em quilowatts
 - D a distância da fonte ao local onde se quer fazer a medição, em quilômetros
 - IC é expressa em Volts/metro
- Como regra geral, pode-se considerar que para intensidades de campo de 10 mV/m, ou menos, os riscos de interferência nos sistemas profissionais de áudio são praticamente inexistentes.

Campos com intensidade de 100 mV/m até 3 V/m representam problemas potenciais de interferência. E quando as intensidades são superiores a 3 V/m as chances de interferência são muito elevadas, o que sugere que fiquemos atentos e que tomemos bastante cuidado.

O padrão 518-1982 do IEEE recomenda que diante de intensidades de campo de 1 V/m, ou superiores, seja feita uma análise da susceptibilidade, o que veremos adiante.

Exemplos de campos com tais intensidades são aqueles produzidos por transmissores de 50 KW a distâncias de 1.300 metros, ou por transmissores de 5 watts a distâncias de 13 metros.

As fontes de ruído que mais se manifestam sobre os sistemas de áudio são ruídos de linha CA, ruídos elétricos de banda ampla, geralmente conduzidos pelas linhas CA, ondas eletromagnéticas radiadas pelo ar, diafonia entre cabos e ruídos produzidos nos próprios aparelhos dos sistemas.

Assim, a interferência eletromagnética geralmente acaba por se manifestar na forma de ruídos audíveis dos mais diversos tipos, como rames, murmúrios ininteligíveis, estáticas, apitos eventuais, vozes e programas musicais inteligíveis ou não, oscilações e tantos outros.

9.2.3 O meio de Propagação

Há quatro formas através das quais a energia eletromagnética pode se propagar, usando como meio de propagação os próprios condutores elétricos e o ar.

Elas são

- acoplamento por impedância comum
- acoplamento de campo elétrico
- acoplamento de campo magnético
- acoplamento direto

Os detalhes de cada uma dessas formas de acoplamento são discutidos a seguir.

9.2.4 O Receptor Em sistemas de áudio, os receptores de IEM são os aparelhos componentes do sistema e os fios e cabos em geral. Até que ponto eles são receptores é o que discutiremos no item 9.4.1, ainda neste capítulo.

9.3 ACOPLAMENTOS

9.3.1 Impedância Comum 9.3.1.1 A Visualização do Fenômeno A figura 9.2 nos mostra um gerador de voltagem V_G , com sua impedância Z_F , alimentando duas impedâncias, Z_1 e Z_2 , ligadas em paralelo. Imagine que essas duas impedâncias representem dois circuitos de certa complexidade.

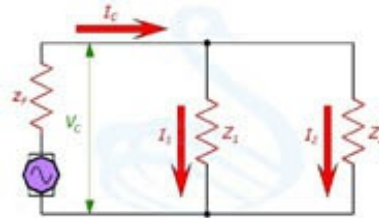


figura 9.2 fonte de voltagem alimentando duas impedâncias em paralelo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Suponha que o gerador seja uma fonte de voltagem ideal. Isto é, independentemente de quanta corrente lhe é exigida, ela é capaz de entregar sempre a mesma voltagem.

Se de um momento para outro qualquer das impedâncias tiver seu valor reduzido, e passar a exigir mais corrente do gerador, a voltagem não será alterada. Nem para Z_1 , nem para Z_2 .

Vamos a um exemplo numérico.

A voltagem do gerador é $V_G = 5$ volts. $Z_1 = 5 \Omega$ e $Z_2 = 50 \Omega$.

A corrente elétrica que flui por Z_1 é $I_1 = 5 \text{ volts} / 5 \Omega = 1 \text{ A}$.

E a corrente que flui por Z_2 é $I_2 = 5 \text{ volts} / 50 \Omega = 0,10 \text{ A}$.

Se por qualquer razão Z_2 deixa de ser 50Ω para ser apenas 10Ω , a nova corrente através de Z_2 passa a ser $I'_2 = 5 \text{ volts} / 10 \Omega = 0,50 \text{ A}$. Mas a voltagem sobre Z_1 continua a ser 5 volts, e a corrente I_1 não é alterada.

Considere agora o circuito da figura 9.3. É exatamente o mesmo circuito anterior, ao qual foi acrescentada a impedância Z_A , que fica entre o gerador e as duas impedâncias ligadas em paralelo, Z_1 e Z_2 .

Num determinado instante, a corrente elétrica que flui pelo circuito é I_C , que como mostra a figura, se divide em duas partes, I_1 e I_2 . I_1 passa apenas por Z_1 e I_2 apenas por Z_2 .

Para melhor caracterizar nosso exemplo, vamos continuar trabalhando com números, mas variando os valores para não confundirmos com o exemplo anterior. A voltagem produzida pelo gerador agora é $V_G = 10$ volts. $Z_A = 2 \Omega$, $Z_1 = 10 \Omega$ e $Z_2 = 20 \Omega$.

A corrente I_C pode ser calculada

$$I_C = \frac{10 \text{ volts}}{2\Omega + \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{20}}} = 1,15 \text{ A}$$

A voltagem sobre Z_A é $V_A = 2 \Omega \cdot 1,15 \text{ A} \approx 2,3 \text{ volts}$. Logo, a voltagem sobre Z_1 e Z_2 é 10,0

- 2,3 = 7,7 volts.

Podemos então calcular $I_1 = 7,7 / 10 = 0,77 \text{ A}$ e $I_2 = 7,7 / 20 = 0,385 \text{ A}$.

Vamos registrar essas duas correntes elétricas: $I_1 = 0,77 \text{ A}$ e $I_2 = 0,385 \text{ A}$.

Suponha agora que, por uma razão qualquer, Z_1 deixa de ser 10Ω para ser apenas 2Ω . É evidente que haverá uma nova corrente I_1 , superior à anterior. Vamos recalculer nossos números.

A nova corrente I_C será

$$I_C' = \frac{1}{2\Omega + \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{20}}} = 2,62 \text{ A}$$

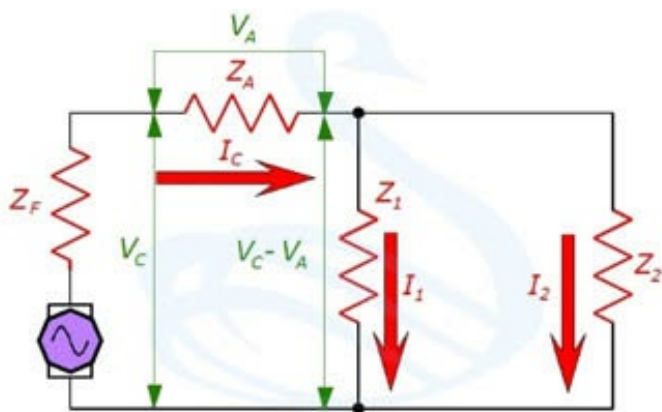


figura 9.3 formação do mecanismo da impedância comum acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A nova voltagem sobre Z_A será $V'_A = 2 \Omega \cdot 2,62 \text{ A} \approx 5,24 \text{ volts}$.

Consequentemente, a voltagem sobre Z_1 e sobre Z_2 será $10,0 - 5,24 = 4,76 \text{ volts}$. A nova corrente que passa a circular por Z_1 é $I'_1 = 4,76/2 \approx 2,38 \text{ A}$ e a nova corrente que passa a circular por Z_2 é $I'_2 = 4,76/20 \approx 0,24 \text{ A}$.

Vemos então que a corrente anterior que passava por Z_1 aumentou de $0,77 \text{ A}$ para $2,38 \text{ A}$. Uma vez que houve redução de impedância, já deveríamos esperar por um aumento. Mas como Z_2 não se alterou, não deveria ter havido variação de corrente sobre ela. Mas houve.

A corrente anterior de $0,385 \text{ A}$ caiu para apenas $0,24 \text{ A}$.

Talvez você possa achar todos esses cálculos uma chatice.

Mas não desista agora.

Se você não entendeu, insista mais uma ou algumas vezes. Acredite, valerá a pena não ter dúvidas, ao menos dessa vez. Porque, ao compreendê-lo, você terá dominado completamente, e de uma vez por todas, o mecanismo da impedância comum.

Com efeito, note que no primeiro caso, sem Z_A , qualquer das impedâncias pode variar à vontade, que a voltagem sobre a outra impedância não se altera. Mas isso já não acontece no segundo caso.

Com a variação de Z_1 , a voltagem e a corrente sobre Z_2 são alteradas, e bastante. E isso ocorreu mesmo com nosso gerador de voltagem sendo ideal. E o pior, sem que tivesse havido qualquer variação de Z_2 .

A única e exclusiva culpada disso é impedância Z_A , por razões óbvias denominada impedância comum.

E quando ela existe, o efeito é exatamente o que acabamos de ver.

Por isso, por mais constante e estável que qualquer circuito possa ser, quando alimentado através de uma impedância comum, acaba sofrendo variações de voltagem por força de variações de impedâncias de outros circuitos, também alimentados através dessa mesma impedância comum.

9.3.1.2 Impedância Comum e o Mundo Real Infelizmente, as inconveniências da impedância comum não são apenas teóricas. Seus efeitos, de todo indesejáveis, se fazem notar bastante no mundo real de nossos aparelhos e sistemas profissionais de áudio.

Para vermos quais são as consequências e como se manifesta a impedância comum em situações práticas, basta que observemos com atenção a figura 9.4.

Lá está um diagrama esquemático simplificado de um aparelho genérico de áudio, com três blocos.

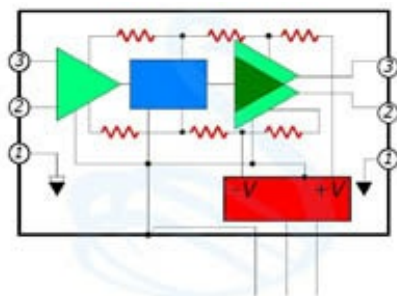


figura 9.4 visualizando as impedâncias comuns nos condutores de alimentação +V e -V
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O bloco de entrada, que por exemplo, pode ser um pré-amplificador, o bloco intermediário que pode ser uma etapa de processamento de sinais, e um bloco que corresponde ao estágio de saída.

Além, naturalmente, do bloco que representa a fonte de alimentação.

Lembremos que o condutor de potencial zero da fonte, que é comum a todos os estágios, é um fio elétrico convencional ou uma trilha de circuito impresso. Ou ainda, uma combinação de ambos. Por isso, apresenta uma impedância elétrica, geralmente pequena, mas ainda assim, real.

E os condutores + V e - V estão sujeitos ao mesmíssimo fenômeno, já que são comuns aos três blocos. Até porque eles servem para conduzir as correntes + e - retificadas pela fonte de alimentação interna do aparelho para os demais blocos.

Como mostra a figura 9.4, a impedância de todos esses condutores acaba distribuída entre

os estágios da maneira clássica utilizada para representar o fenômeno da impedância comum.

Desse modo, as impedâncias dos condutores de potencial zero da fonte, e os condutores $+V$ e $-V$ de qualquer aparelho acabam constituindo um subsistema que funciona exatamente como as impedâncias comuns que vimos anteriormente. E apresenta seus mesmos efeitos.

Se o aparelho da figura 9.4 for um amplificador, o estágio de saída exigirá correntes elétricas relativamente elevadas da fonte interna do aparelho, bem ao estilo do exemplo numérico com o qual trabalhamos anteriormente. E agora sabemos um pouquinho melhor o que acontece no interior de cada um de nossos aparelhos.

Mas nosso objetivo agora é tão somente analisar os fenômenos com vistas a estabelecermos critérios para o controle da IEM. E nessa direção, podemos concluir que quando uma fonte de ruído qualquer e um receptor compartilham um condutor elétrico comum, estão criadas as condições para a ocorrência de acoplamento de ruídos por impedância comum.

Como sempre há a possibilidade de ocorrência de acoplamento de radiofrequência, devemos lembrar que as impedâncias CA dos condutores geralmente são maiores do que suas resistências CC.

Há muitos caminhos através dos quais o acoplamento por impedância comum pode se desenvolver. Alguns óbvios. Outros muito camuflados, como as capacitâncias parasíticas existentes entre as carcaças metálicas dos aparelhos e a terra.

O acoplamento por impedância comum é a única forma de interferência transmitida através de fios condutores.

As demais são todas transmitidas através do ar. Mas também podem haver combinações dessas duas formas de transmissão, além de muitas outras situações relativamente complexas.

Um exemplo de situação complexa, especialmente em casos reais, são os ruídos gerados por dimmers através das linhas CA, seguidos da retransmissão do ruído para o ar graças à qualidade de antena da qual as próprias linhas CA são portadoras.

O particular modo pelo qual o ruído é transmitido é um dos fatores determinantes da extensão dos efeitos sobre a vítima. Ainda, a maneira de tratar o problema depende bastante do modo de transmissão do ruído. Veremos adiante neste capítulo os modos pelos quais os ruídos são transmitidos pelas linhas.

Eletrônicas ou a transformador, as entradas balanceadas são feitas para aceitar os sinais de modo diferencial, entre os quais estão os sinais balanceados de áudio, e para rejeitar os sinais de modo comum.

Com efeito, entre uma das propriedades mais marcantes das entradas balanceadas está a de rejeição de ruídos de modo comum.

Entretanto, como vimos no capítulo 8, em qualquer linha balanceada há diferenças entre as impedâncias de cada um dos condutores com relação à terra.

E isso transforma parcialmente os ruídos de modo comum em modo diferencial. Esse efeito, denominado **conversão de modo comum para modo diferencial**, é o resultado dos pequenos e inevitáveis desvios de balanceamento das linhas balanceadas. O que também vimos no capítulo anterior.

Tais desbalanceamentos ocorrem em quaisquer linhas balanceadas. Sejam elas circuitos de microfones, linhas balanceadas de CA, ou outras.

Uma vez que os ruídos são, ou se transformaram em ruídos de modo comum, as entradas balanceadas passam a aceitá-los como se fossem sinais de áudio.

Como vimos no capítulo 8, a capacidade de não aceitar ruídos de modo comum das entradas balanceadas não é ilimitada. Tal habilidade de rejeição é estabelecida em termos de RRMC (Relação de Rejeição ao Modo Comum) da entrada.

Os valores de RRMC aferidos em laboratório, e especificados pelos fabricantes, geralmente se mostram extraordinariamente elevados em comparação com o que se verifica quando os aparelhos já se encontram instalados, em condições de uso, e fazendo parte de sistemas maiores. E uma das razões que explica essa degradação dos números teóricos de laboratório é a conversão de modo comum para modo diferencial.

9.3.2 De Campo Elétrico

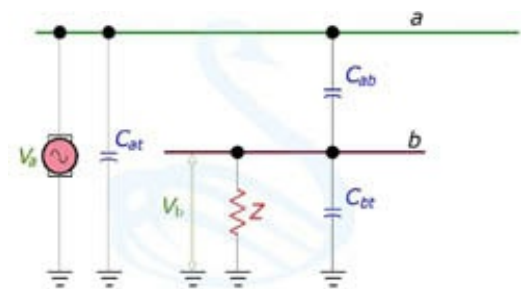


figura 9.5 mecanismo responsável pelo acoplamento capacitivo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Assim como um potencial elétrico gera um campo elétrico, um campo elétrico também gera um potencial elétrico. E o acoplamento de campo elétrico é determinado pela capacitância existente entre a fonte de ruído e o receptor.

Vamos investigar mais detalhadamente o mecanismo responsável pelo acoplamento capacitivo.

A representação clássica desse mecanismo é o que mostra a figura 9.5. Lá estão dois condutores, designados **a** e **b**. O primeiro é o condutor interferente e o segundo o interferido.

A voltagem V_a é a real fonte de interferência.

C_{ab} é a capacitância existente entre os dois condutores. Já sabemos que seu valor é proporcional à permissividade do meio através do qual o ruído viaja da fonte para o receptor.

Também já sabemos que este valor é proporcional à área compartilhada pelos dois

condutores.

Como na prática essa área é quase que invariavelmente determinada por um ou mais cabos de interligação, para efeito do estabelecimento do valor de C_{ab} prevalecem os comprimentos físicos e as orientações desses cabos.

C_{at} e C_{bt} são as capacitâncias entre os condutores **a** e a terra, e **b** e a terra, respectivamente.

Z representa a impedância entre o condutor **b** e a terra. Seu valor não é de origem parasítica, e depende apenas dos circuitos eletricamente ligados ao condutor **b**.

Como mostra a figura, o acoplamento de campo elétrico cria uma voltagem na circuitação do receptor, V_b , que se apresenta como uma voltagem de ruído sobre a impedância de carga do receptor.

Na maioria dos casos práticos Z é muito menor do que a soma $C_{ab} + C_{bt}$. Assim sendo, a voltagem de ruído V_b é expressa por:

$$V_b = j.\omega.Z.C_{ab}.V_a \quad (9.2)$$

onde

- j continua sendo um operador matemático que no momento não nos interessa, e
- ω é $2\pi f$, sendo f a frequência do ruído (V_a)

Nota-se que a magnitude da voltagem de ruído é diretamente proporcional à frequência do ruído na fonte, à impedância do circuito interferido em relação à terra, à capacitância entre os dois condutores, e à magnitude da voltagem V_a .

Ao que vale dizer, a frequência e a magnitude do ruído, a impedância do circuito interferido e a capacitância entre os dois circuitos determinam as proporções do acoplamento capacitivo.

E ainda, essas proporções são inversamente relacionadas com a distância física que separa a fonte do receptor.

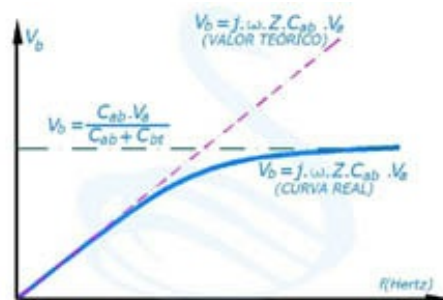


figura 9.6 voltagens de ruído para impedância Z muito menor do que a soma $(C_{ab} + C_{bt})$, e também, para valores iguais ou superiores a essa soma acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mas eventualmente Z pode ser da mesma ordem de grandeza ou até maior do que a soma $C_{ab} + C_{bt}$. Quando esse for o caso, a voltagem de ruído será dada por

$$V_b = \frac{C_{ab} \cdot V_a}{C_{ab} + C_{bt}} \quad (9.3)$$

Nota-se que, agora, a voltagem de ruído não depende mais da frequência.

De fato, seu valor é maior do que a voltagem de ruído acoplada no caso em que Z era muito menor do que a soma $(C_{ab} + C_{bt})$.

O gráfico da figura 9.6 ilustra as voltagens de ruído de acoplamento capacitivo para as duas condições de valores de Z .

Se tivermos que reduzir esse tipo de interferência, no caso de Z muito menor do que a soma $(C_{ab} + C_{bt})$, devemos considerar inicialmente que é praticamente impossível alterar a frequência do ruído.

O que só nos deixa a alternativa de modificar os demais parâmetros. Especialmente C_{ab} . Se tivermos que reduzir a interferência capacitiva no caso de Z aproximadamente igual ou maior do que a soma $(C_{ab} + C_{bt})$, também caímos na necessidade de reduzir C_{ab} .

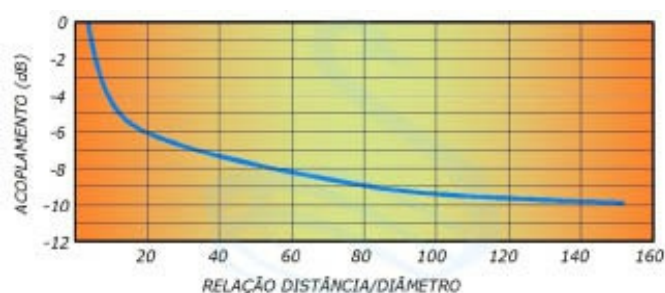


figura 9.7 redução do acoplamento capacitivo entre dois condutores, para afastamentos entre eles, medidos em termos de seus diâmetros. O valor 0 dB do eixo vertical é a referência de acoplamento, correspondente a um afastamento igual a três vezes o diâmetro dos condutores acervo do engº Luiz

Fernando O. Cysne A redução de C_{ab} é facilmente conseguida com a reorientação espacial dos condutores interferente e interferido e/ou com sua maior separação física.

E ainda, com a blindagem de um, ou de outro, ou de ambos.

No caso de um cabo de áudio estar fisicamente próximo e paralelo de outro cabo, que pode estar conduzindo sinais de áudio ou energia CA, a voltagem criada no receptor é determinada por suas impedâncias de entrada e de saída.

E também, por quaisquer capacitâncias do cabo receptor para a terra, parasíticas ou intencionais, uma vez que estas formam divisores de voltagem com a capacitância de acoplamento.

A lei que relaciona inversamente magnitude de campo e distância nos sugere que desacoplamentos significativos podem ser obtidos inicialmente com afastamentos moderados, mas que afastamentos adicionais precisam ser cada vez maiores para obtermos idênticas reduções de acoplamento.

A figura 9.7 ilustra esse aspecto.

O 0 dB da figura é o valor de referência para acoplamento, equivalente a uma distância de

separação entre os condutores **a** e **b** de três vezes o próprio diâmetro dos condutores.

Para cabos com condutores bitola 22 AWG, o desacoplamento mais significativo é obtido com afastamento da ordem de 25 mm entre os condutores.

Sabemos que se o acoplamento de ruído na linha de áudio é inevitável. Então, é melhor que seja um ruído de modo comum.

Se uma linha de áudio encontra-se muito próxima de uma fonte de ruído, então, dependendo de sua orientação em relação à fonte, as intensidades de campo elétrico em cada um dos dois condutores da linha de áudio poderão ser diferentes.

O que significa que, nestas condições, o ruído será, ao menos parcialmente, de modo diferencial. Entretanto, se estes condutores estiverem torcidos entre si, forçarão que suas capacitâncias para a fonte sejam aproximadamente iguais.

E como resultado, as intensidades de campo elétrico em cada um deles tenderá a ser aproximadamente a mesma. E o ruído será, então, predominantemente de modo comum.

Quando a linha de áudio encontra-se relativamente afastada da fonte, as intensidades de campo elétrico serão aproximadamente iguais nos dois condutores, independentemente dos condutores estarem ou não torcidos.

O acoplamento capacitivo também é chamado de acoplamento elétrico, e de acoplamento eletrostático. Esta última designação, embora de uso comum, é pouco adequada, uma vez que nitidamente não há campos eletrostáticos envolvidos.

9.3.3 De Campo Magnético Sabemos que o acoplamento de campo magnético ocorre em função de uma indutância mútua existente entre a fonte de ruído e o receptor.

Para melhor compreendermos isso, que é a essência do mecanismo de acoplamento indutivo, vamos relembrar o princípio de funcionamento de um simples transformador.

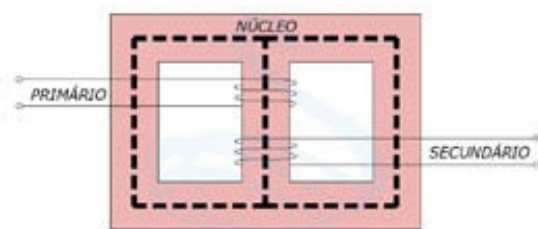


figura 9.8 transformador ideal. As linhas pontilhadas representam o fluxo mútuo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Pensemos num transformador ideal, com um só enrolamento primário e um só enrolamento secundário. Como o da figura 9.8.

Vejamos então como as coisas se sucedem.

Ao aplicarmos uma voltagem no enrolamento primário, é gerado um fluxo magnético.

Este fluxo percorre o núcleo do transformador. Na figura, o percurso do fluxo magnético é representado pelas linhas pontilhadas.

Como o núcleo é comum aos dois enrolamentos, o fluxo circula pelas partes internas dos

dois enrolamentos, e por isso mesmo é denominado fluxo mútuo.

Agindo sobre os dois enrolamentos, o fluxo mútuo acaba por produzir voltagem no enrolamento secundário.

Apenas para constar, essa voltagem desenvolvida no enrolamento secundário é proporcional ao número de espiras do próprio enrolamento.

Lembrando que não há ligações elétricas entre os enrolamentos primário e secundário do transformador, o que significa exatamente a produção de voltagem num enrolamento quando se aplica voltagem no outro?

Apenas que os enrolamentos estão magneticamente vinculados, ou mutuamente acoplados. Esse acoplamento é o que se denomina indutância mútua.

Convém termos em mente que no caso específico dos transformadores, o objetivo principal é mesmo obter o máximo acoplamento possível entre os enrolamentos. Por essa razão, o núcleo é sempre escolhido de modo a concentrar ao máximo o fluxo mútuo.

Mas ainda que não houvesse um núcleo, e os enrolamentos estivessem apenas próximos, ainda haveria acoplamento. Naturalmente, num grau inferior ao que se obtém com os transformadores. E o que é exatamente essa proximidade?

Certamente não significa que os enrolamentos precisam estar encostados.

Sabemos que os campos produzidos pelos indutores atingem distâncias relativamente grandes.

Já vimos que há sempre uma certa indutância em qualquer fio condutor comum. E quando dois condutores estão a uma certa distância, aquilo que é intencional nos transformadores também acaba acontecendo com os fios, não intencionalmente, e até de modo indesejável.

Quando uma corrente elétrica I percorre um circuito qualquer, é produzido um fluxo magnético, cuja magnitude é proporcional à intensidade da corrente. A constante de proporcionalidade é a nossa conhecida indutância, representada por L .

Matematicamente, esse raciocínio pode ser resumido em

$$\Phi = L.I \quad (9.4)$$

Por sua vez, a magnitude da indutância depende da geometria do circuito e das propriedades magnéticas do meio no qual o circuito se encontra.

Ou por outra, a indutância é diretamente proporcional à permeabilidade do meio de transmissão do ruído entre a fonte e o receptor, e também, à área encerrada pelo elo fechado formado pela circuitação do receptor.

Considere o arranjo da figura 9.9.

Os condutores ainda são designados **a** e **b**.

Quando a corrente I_a flui pelo condutor **a**, por força da indutância mútua entre os dois

circuitos é produzido um fluxo magnético no condutor **b**. Essa indutância mútua é definida por

$$M_{ab} = \frac{\Phi_{ab}}{I_a} \quad (9.5)$$

onde

- M_{ab} é a indutância mútua entre os condutores a e b,
- Φ_{ab} é o fluxo magnético produzido no circuito b pela corrente I_a , e
- I_a é a corrente que circula pelo condutor a

A figura 9.9 sugere que o acoplamento magnético cria uma corrente elétrica na circuitação do receptor, ou circuito interferido, que passa através de sua impedância de entrada. Portanto, desenvolve-se uma voltagem no condutor **b** do circuito fechado, que em sua forma mais simples pode ser expressa por

$$V_b = j \cdot \omega \cdot B \cdot A \cdot \cos \theta \quad (9.6)$$

onde

- j e ω são exatamente como na expressão 9.2
- B é a densidade do fluxo magnético
- A é a área determinada pelo perímetro do circuito fechado, como mostra a figura 9.10, e
- θ é o ângulo com que o campo magnético incide sobre a área A

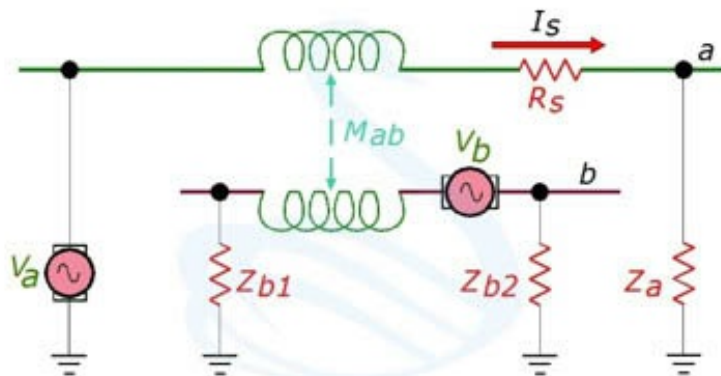


figura 9.9 mecanismo responsável pelo acoplamento indutivo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A expressão 9.6 é uma das que permite calcular o acoplamento indutivo. Mas, como o termo $B \cdot A \cdot \cos \theta$ representa o fluxo magnético total (Φ_{ab}) acoplado ao circuito b, a expressão 9.6 pode ser formulada em termos de indutância mútua

$$V_b = j \cdot \omega \cdot M_{ab} \cdot I_a \quad (9.7)$$

As expressões 9.6 e 9.7 caracterizam completamente o acoplamento indutivo entre dois condutores.

Vemos que a voltagem de ruído produzida no condutor **b** é proporcional à frequência do

ruído presente no condutor **a**, à indutância mútua e à corrente que circula pelo condutor **a**.

A intensidade da interferência de campo magnético, que é diretamente proporcional à frequência do ruído, torna-se particularmente crítica com a combinação de distância reduzida entre fonte e receptor, e ruídos transientes de altas frequências.

Mas a magnitude do ruído transmitido também é determinada pela indutância mútua, que por sua vez depende da geometria do circuito e das propriedades magnéticas do meio que separa os dois circuitos.

Ou por outra, a indutância mútua depende de B , de A e de $\cos\theta$. Logo, a redução desses termos leva à redução do acoplamento indutivo.

O termo B pode ser reduzido com a separação física dos condutores **a** e **b**. Quando o circuito interferente é formado por dois condutores, e não como mostra a figura 9.9, isto é, por um condutor e a terra, o emprego do par com os condutores torcidos entre si é uma das maneiras mais eficientes de redução do termo B .

De fato, essa torção faz com que as densidades de fluxo em cada um dos condutores do par sejam reciprocamente canceladas.

De um modo geral, a eficácia dos cabos torcidos é uma das ferramentas mais comuns e úteis que o profissional de áudio pode empregar para controlar ruídos nos sistemas de áudio.

Apesar disso, a maioria desses profissionais desconhece os porquês da eficácia desse recurso, e conseqüentemente, sua real potencialidade. Veremos no item 9.7.2 porque a torção é uma forma eficiente de controlar ruídos.

Uma das formas de reduzir o termo A é localizar o condutor interferido mais próximo da terra. Veja isso olhando para a figura 9.10.

Como antes, se o circuito interferido é formado por um par de fios, o uso de um par com condutores torcidos é uma ferramenta eficaz para a redução do termo A .

O termo $\cos\theta$ pode ser reduzido com a escolha criteriosa da orientação relativa entre os condutores interferente e interferido.

Quando a linha de áudio encontra-se próxima e paralela a outra linha de áudio ou de energia CA, a interferência tende a ser tão mais elevada quanto maior for o elo criado pelo receptor.

Por exemplo, quando os fios fase e antifase do cabo de interligação caminham separadamente. Isto porque, na prática, quanto maior é o elo, maior é a área A da expressão 9.6.

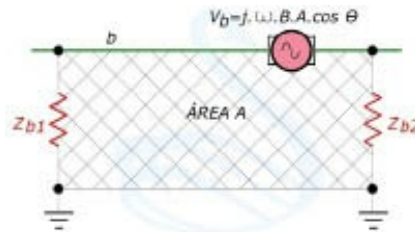


figura 9.10 ilustração da área A de um circuito fechado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O acoplamento indutivo também é chamado de acoplamento magnético e de acoplamento eletromagnético. Esta última designação também é inadequada, pois certamente não há campos elétricos envolvidos neste processo.



figura 9.11 arranjo de teste para verificar se o acoplamento é capacitivo ou indutivo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Observemos que enquanto o acoplamento capacitivo cria uma voltagem de ruído entre o condutor interferido e a terra, o acoplamento indutivo cria uma voltagem que aparece em série no circuito interferido.

Por esse motivo, há um teste muito simples que pode ser feito com facilidade, através do qual podemos distinguir se o acoplamento é capacitivo ou indutivo. Veja a figura 9.11.

Meça a voltagem de ruído V_r ao mesmo tempo em que é reduzido o valor do atenuador R .

Se a voltagem diminuir com a redução de R , o acoplamento é capacitivo. E se com a redução de R a voltagem não se alterar, ou aumentar, então o acoplamento é indutivo.

9.3.4 Acoplamento Direto O acoplamento direto resulta das radiações eletromagnéticas, e ocorre quando a distância entre a fonte de ruídos e o receptor é no mínimo igual a $1/6$ do comprimento de onda da energia radiada. O que deixa o receptor no campo remoto.

A tabela 9.1 resume algumas frequências de ruído e as correspondentes distâncias para as quais já se verifica a predominância do campo remoto.

tabela 9.1

FREQUÊNCIA	CAMPO REMOTO
100 kHz	500,00m
1 MHz	50,00m
10 MHz	5,00m
100 MHz	0,50m
1 GHz	0,05m

Define-se campo remoto como aquele no qual a frente de onda não tem mais o comportamento de ondas esféricas, assumindo o de ondas planas. Dessa forma, a relação existente entre campo elétrico e campo magnético equivale a

$$\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (9.8)$$

sendo

- μ permeabilidade do meio de transmissão, e
- ϵ sua permissividade.

Como para o ar $\mu = 1,26 \times 10^{-6}$ e $\epsilon = 0,85 \times 10^{-12}$, a impedância característica deste meio (ar) é $377 \, \Omega$.

Consequentemente, a radiação eletromagnética apresenta um campo elétrico com magnitude 377 vezes superior à do campo magnético.

As formas mais corriqueiras de radiação eletromagnética geradas dessa maneira são as produzidas por transmissores de rádio e de TV, de radares, de telecomunicações, inclusive telefones celulares, motores elétricos de alta potência e cargas indutivas que operam em rápidos ciclos de comutação.

Já havíamos mencionado que as radiações eletromagnéticas dificilmente constituem problemas sérios para os sistemas de áudio, em poucas ocasiões mostrando resultados audíveis.

Por outro lado, é sempre muito difícil determinar seus reais contornos, uma vez que os efeitos das radiações não são necessariamente localizados, e quaisquer descontinuidades de blindagem ou pontos fracos de quaisquer sistemas são as portas de entrada mais prováveis para esse tipo de interferência.

De modo prático, as técnicas empregadas para controlar os campos elétricos usualmente surtem os efeitos desejados, de vez que esses são 377 vezes mais intensos do que os campos magnéticos.

9.4 A VÍTIMA

Vítima é o nome técnico dado ao receptor atingido pela radiação eletromagnética.

9.4.1 Susceptibilidade Os níveis de IEM a que um receptor pode estar sujeito dependem bastante de sua capacidade de distinguir sinais úteis de ruídos, e de ignorar ou atenuar esses últimos.

Do ponto de vista de susceptibilidade, aparelhos com entradas e saídas balanceadas são vantajosos em relação aos que trabalham com entradas e saídas não balanceadas. De fato, quando a radiação eletromagnética incide num par de fios torcidos, é gerada uma voltagem de modo comum sobre eles. E aí as entradas balanceadas cancelam voltagens de modo comum de forma significativa.

Vimos no capítulo anterior algumas das inconveniências das entradas balanceadas. E ponderamos que à medida em que a frequência aumenta o balanceamento das entradas vai se

degradando em razão das variações de capacitância e de indutância de cada condutor de entrada para a terra, e também, da própria circuitação interna das entradas para a terra.

O que é um verdadeiro convite para a conversão de modo comum para modo diferencial.

Infelizmente, mesmo sinais muito acima dos 20 kHz podem se manifestar como sinais audíveis. O que acontece em virtude de um processo conhecido como retificação de áudio.

A retificação de áudio ocorre quando os ruídos de altas frequências entram num aparelho de áudio, ou circuitação digital, por quaisquer das vias disponíveis de acoplamento, e são então demodulados por dispositivos não lineares, a exemplo de transistores de banda ampla, e até de soldas frias, que são excelentes demoduladores desses ruídos.

As demodulações acontecem em frequências que são naturalmente realçadas por circuitos de origem parasítica, ressonantes em certas frequências.

A seguir, os sinais demodulados são amplificados e/ou processados pelos estágios seguintes. As características da interferência podem depender das fontes, que se apresentam moduladas em amplitude ou em frequência.

As interferências das transmissões AM muitas vezes são claramente ouvidas e entendidas, porquanto as de transmissões SSB e de radioamadores podem ser inteligíveis ou não.

Pulsos AM de radares e transmissões de sinais de TV costumam provocar ruídos particularmente irritantes.

Vemos que o termo retificação de áudio poderia ser tranquilamente substituído por demodulação de áudio, o que faria muito mais jus ao fenômeno.

Para uma dada voltagem de acoplamento capacitivo, quanto mais elevada é a impedância do circuito, maior o efeito de retificação, ou demodulação de áudio.

Em circuitos de baixa impedância, as voltagens de ruído são facilmente drenadas para terra sem maiores problemas. Entretanto, as correntes induzidas por acoplamentos indutivos podem se tornar mais sérias, mesmo nos circuitos de baixa impedância.

Desse modo, as impedâncias dos circuitos são elementos determinantes da susceptibilidade para a IEM.

Adiante discutiremos detalhes de como identificar possíveis origens de problemas em função das impedâncias dos circuitos.

Muitos aparelhos apresentam alta susceptibilidade a IEM apenas por serem portadores do que chamei antes de problema do pino 1.

Ou seja, os pinos 1 de conectores de entrada e de saída não são diretamente ligados às carcaças, por onde a sujeira elétrica coletada pelas blindagens deveria escoar. Ao invés disso, esses pinos 1 são diretamente ligados ao RSPZ dos aparelhos.

As características de blindagem das carcaças metálicas constituem um outro fator que

determina a susceptibilidade a IEM dos aparelhos.

Nos Estados Unidos há diversos padrões que especificam condições para emissão e susceptibilidade de IEM. Como os padrões militares estabelecidos no documento MIL-STD-461B, para limites de emissão e de susceptibilidade, e no documento MIL-STD-462, com descrições detalhadas de métodos e procedimentos para os correspondentes testes e medições.

Ambos cobrindo a faixa de 30 Hz a 40 GHz.

9.4.2 Imunidade

Genericamente, o grau de imunidade eletromagnética pode ser definido como a virtude que um aparelho de áudio apresenta, de rejeitar em maior ou menor escala a interferência eletromagnética.

Como na comunicação diária o termo grau de imunidade eletromagnética é usado de forma simplificada, tornando-se apenas imunidade, não se deve confundir essa virtude com uma irreal situação na qual um aparelho rejeitasse completamente todo e qualquer campo eletromagnético.

A imunidade eletromagnética é o inverso da susceptibilidade eletromagnética. Logo, os padrões que definem susceptibilidade à IEM também definem a imunidade.

Há ainda a compatibilidade eletromagnética, que quando aplicável a um aparelho exige a presença simultânea de três condições:

- o aparelho deve apresentar elevado grau de imunidade eletromagnética
- o aparelho não deve provocar interferência em outros aparelhos
- o aparelho não deve provocar interferência em si próprio

Os efeitos inconvenientes da susceptibilidade eletromagnética são praticamente autocontrolados. Isto é, se um determinado produto é muito susceptível à captação de interferências, sua aceitação no mercado tende a declinar progressiva e rapidamente, de modo que as circunstâncias se encarregam de varrê-lo do mapa.

Mas o mesmo não acontece com a emissão eletromagnética. Que por sinal, é muito pior do que a susceptibilidade.

De fato, se um aparelho é muito susceptível, será criado um único problema. Mas se um aparelho apresenta elevado grau de emissão eletromagnética, o mesmo pode acarretar quantidade virtualmente ilimitada de problemas. Por tal razão, vários organismos estabelecem padrões muito rígidos que regulam as emissões eletromagnéticas, separando os produtos em classes.

O ideal seria que a emissão eletromagnética fosse uma preocupação de partida de todo projetista, no exato momento em que tem início a fase de conceituação de qualquer aparelho de áudio.

9.5 DESCARGA ELETROSTÁTICA (DEE) A eletricidade estática é familiar para a maioria das pessoas. Muitas vezes ela se acumula em nossas roupas, especialmente em regiões de clima seco. Às vezes nossos cabelos ficam eletrizados. E quando passamos as mãos na cabeça, logo sentimos a presença da eletricidade.

Muitos indivíduos já tomaram choques ao tocar em maçanetas metálicas de portas de residências e de hotéis, e mesmo de automóveis. Em alguns desses casos, inclusive com produção de pequenas faíscas.

A eletricidade estática já era conhecida pelas civilizações antigas. Atualmente, utilizamos a eletricidade estática vantajosamente, para obter artefatos úteis. Como as máquinas copiadoras de documentos, purificadores de ar e tantos outros.

E num plano mais tecnológico, em processos industriais, a exemplo de pinturas especiais.

Mas ainda não conseguimos controlar totalmente a eletricidade estática.

E quando ela não está sob controle, pode arruinar equipamentos eletrônicos, inclusive os de áudio.

Após uma série de estudos e investigações técnicas, já em 1.960 se reconhecia de forma inequívoca que a descarga de eletricidade estática (DEE) descontrolada podia danificar componentes eletrônicos em geral, especialmente dispositivos de estado sólido empregando tecnologia de filme espesso e de filme fino, semicondutores tipo MOS, circuitos integrados bipolares, resistores de filme, e até mesmo cristais e capacitores.

Estudos mais recentes mostram claramente que à medida em que os componentes ativos vão se tornando mais rápidos, e mais compactos por aumento de densidade de componentes primários por unidade de área, também aumenta sua predisposição para a destruição por efeito de descarga de eletricidade estática.

9.5.1 Produção de Eletricidade Estática Uma das formas mais eficientes de produzir eletricidade estática é através da fricção entre dois materiais. A rigor, este era o princípio de produção de energia elétrica empregado nas primeiras máquinas geradoras de energia elétrica concebidas pelo homem.

Mas o fechamento de contato de dois materiais, seguido de sua abertura também produz eletricidade estática.

Quando dois materiais isolantes estão em contato, elétrons são transferidos de um para o outro. Quando eles são separados, com a dificuldade de movimentação dos elétrons nesse tipo de material, a carga elétrica deslocada pode não retornar a sua origem. E se os dois materiais estivessem eletricamente neutros antes do contato, depois da separação um estará carregado positivamente, e outro, negativamente.

Essa particular forma de produção de eletricidade é chamada de efeito triboelétrico.

Alguns materiais tendem a ceder elétrons, e outros tendem a aceitá-los. E os graus de cessão e de aceitação são variáveis de acordo com o material. O que dá origem à série triboelétrica, relacionada na tabela 9.2

tabela 9.2

SÉRIE	MATERIAL
1	Ar
2	Pele humana
3	Asbestos
4	Vidro
5	Mica
6	Cabelo humano
7	Nylon
8	Lã
9	Pele animal
10	Chumbo
11	Seda
12	Alumínio
13	Papel
14	Algodão
15	Madeira
16	Aço
17	Cera
18	Borracha
19	Mylar
20	Epoxy
21	Níquel/cobre
22	Latão/Prata
23	Ouro/Platina
24	Espuma de poliestireno
25	Acrílico
26	Poliéster
27	Celulóide
28	Orlon
29	Espuma de poliuretano
30	Polietileno
31	Polipropileno
32	PVC
33	Silício
34	Teflon

O significado desta série é que o número 1, o ar, é o que mais facilmente cede elétrons, e

portanto, o que mais facilmente adquire carga positiva.

No extremo oposto da lista, o número 34 é o que mais facilmente recebe elétrons, e portanto o que mais facilmente adquire carga negativa.

Entre esses dois limites estão distribuídos os materiais cujos comportamentos ficam entre um e outro extremo.

9.5.2 Voltagens da DEE

As voltagens produzidas pela eletricidade estática da qual estamos falando podem variar dentro de uma gama de valores consideravelmente ampla, dependendo de algumas circunstâncias.

Mas certamente há duas coisas muito pouco entendidas sobre a eletricidade estática. A primeira é que produzir voltagens elevadas de eletricidade estática é algo que decorre de atividades cotidianas muito simples, as quais fazemos várias vezes por dia em nossas vidas. A segunda é que muito fácil e frequentemente constatamos valores bem superiores ao que se julga possível, como os que atingem muitos milhares de volts.

tabela 9.3

FORMA DE PRODUÇÃO	UMIDADE RELATIVA DO AR 10 a 20%	UMIDADE RELATIVA DO AR 65 a 90%
andar sobre carpete	35.000 volts	1.500 volts
andar sobre piso vinílico	12.000 volts	250 volts
pessoa se movendo num banco	6.000 volts	100 volts
abertura de envelope de vinil	7.000 volts	600 volts
segurando sacola de polietileno	20.000 volts	1.200 volts
sentando numa cadeira com espuma de poliuretano	18.000 volts	1.500 volts

A magnitude da voltagem está relacionada com o grau de umidade relativa do ar, com a particular maneira pela qual a voltagem é provocada, e ainda, depende também da localização dos materiais na série triboelétrica.

Os dados da tabela 9.3 podem nos ajudar a ver isso com mais nitidez.

Um material isolante carregado não é um problema por si só. Porque as cargas não podem se mover. Assim, há pouca chance de haver descarga.

O perigo começa a aparecer quando aumenta o potencial de indução de carga pelo material isolante num material condutor.

Do ponto de vista de perigo para a DEE, os condutores mais comuns são os metais, o carbono e o corpo humano, especialmente quando a pele apresenta certo grau de umidade.

9.5.3 A Descarga e Como Evitá-la

As cargas acumuladas deixam o material através de dois

mecanismos mais comuns: fuga ou arco elétrico. Uma vez que é sempre melhor evitar arcos, a fuga é sempre preferível.

A fuga acontece através do ar, e sua ocorrência é facilitada com o grau mais elevado de umidade do ar. Mas cargas acumuladas também podem ser compensadas por ionizadores, que carregam o ar com cargas opostas.

Assim, os íons passam a ser atraídos pelo material carregado, e dessa forma suas cargas podem ser totalmente neutralizadas.

Portanto, a técnica da ionização é extremamente útil em regiões onde o clima é muito seco.

A DEE pode ser acoplada aos circuitos eletrônicos através de três formas diferentes:

- condução direta
- acoplamento capacitivo
- acoplamento indutivo

Como o nome sugere, na condução direta a corrente de descarga caminha diretamente para o circuito afetado. O resultado disso geralmente é a destruição do circuito ou de suas partes.

Os acoplamentos capacitivo e indutivo acontecem quando a descarga ocorre próxima a um objeto metálico, como um fio ou cabo, sobre os quais os campos interferentes possam atuar.

Circuitos, aparelhos e sistemas podem ser protegidos da DEE de muitas formas, entre as quais estão

- redução da possibilidade de carga do material sujeito a isso
- isolamento dos equipamentos de maneira a prevenir a descarga
- criação de um caminho alternativo para o circuito, aparelho ou sistema
- blindagem desses itens contra os campos elétricos produzidos pela DEE
- proteção de circuitos contra os campos magnéticos resultantes da DEE
- combinações dessas providências

O controle da DEE é um caso particular de controle da IEM. Desse modo, as técnicas utilizadas para controlar a DEE são essencialmente as mesmas utilizadas para o controle da IEM.

A principal diferença entre a DEE e a IEM é que na primeira as voltagens são bem mais elevadas.

9.6 IDENTIFICANDO PROBLEMAS

Para identificarmos problemas de IEM a fim de combatê-los, devemos aplicar um diagnóstico preciso e eficaz.

9.6.1 Acoplamento Direto Após examinarmos as possibilidades de existência de problemas, e após termos feito o correspondente diagnóstico, estaremos aptos a dar as soluções adequadas. E para entender devidamente o termo adequado como usado nesse contexto, temos que lembrar que nem sempre é possível eliminar todos os problemas.

A primeira coisa a fazer é conhecer o espectro de frequência dos ruídos.

E o melhor meio de fazê-lo é empregar um analisador de espectro de vídeo. Se não houver um destes instrumentos disponíveis, a alternativa será empregar um testador de linha CA com capacidade de identificar se há ou não ruídos de altas frequências.

Se pretendemos saber quais são essas frequências, podemos utilizar os osciloscópios. Mas prepare-se. Será preciso fazer algumas continhas.

Os dois tipos de sinais de maior interesse para esta análise são as ondas quadradas e os pulsos.

9.6.1.1 Ondas Quadradas As ondas quadradas são significativamente representativas.

Muito empregadas em testes de bancada e de campo, são também normalmente utilizadas em sistemas, especialmente nas seções de controles digitais, a exemplo do SMPTE Time Code.

9.6.1.2 Pulsos e sua Detecção Eventuais pulsos presentes nas linhas CA podem ser detectados por osciloscópios que operam com altas frequências, por exemplo 500 MHz.

É muito fácil ler em qualquer osciloscópio o tempo de duração de um ciclo completo de qualquer forma de onda de natureza repetitiva.

Por exemplo, se estivermos observando uma forma de onda sinusoidal na tela de um osciloscópio, estando a varredura horizontal ajustada para 0,1 milissegundo por divisão, e o ciclo completo da forma de onda ocupar dez divisões da grátícula horizontal, num piscar de olhos podemos calcular $10 \times 0,1 = 1,0$ milissegundo.

Já sabemos que esse tempo é o período. Conhecido o período P, podemos calcular a frequência com o auxílio da expressão

$$F = \frac{1}{P} \quad (9.9)$$

onde

- F é a frequência em Hz, e
 - P é o período em segundos
- No caso de nosso exemplo

$$F = \frac{1}{0,001} = 1.000 \text{ Hz}$$

9.6.1.3 Modo Comum ou Diferencial?

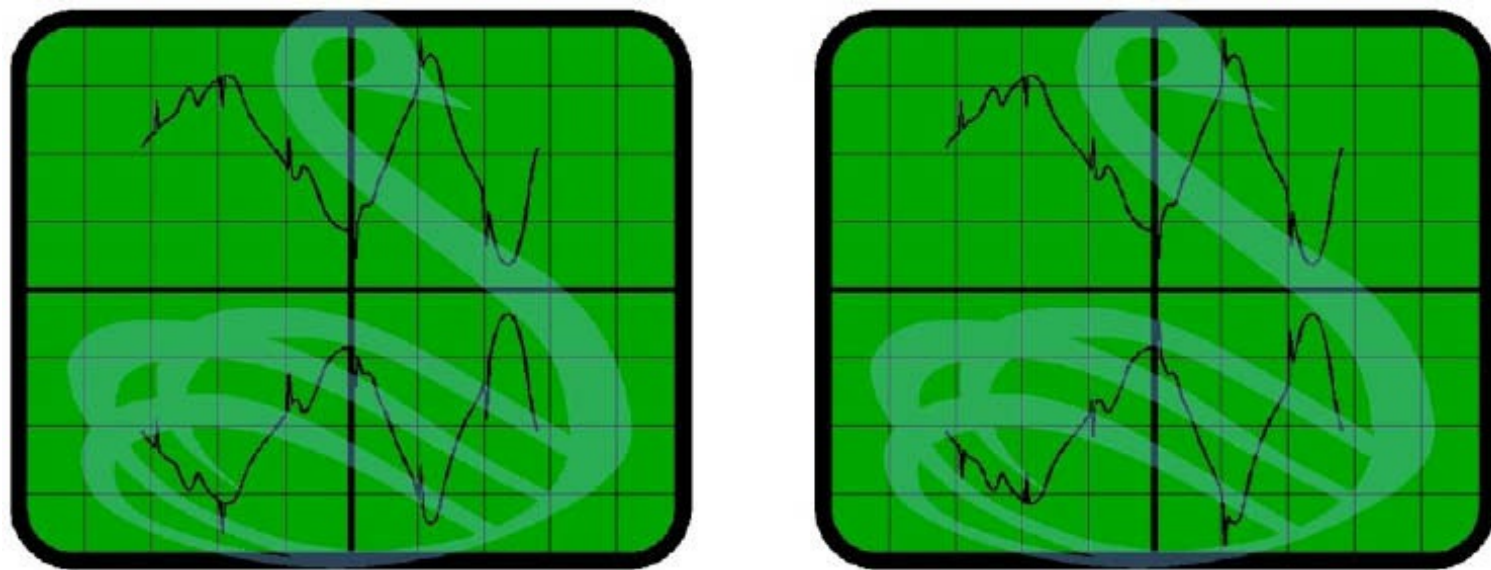


figura 9.12 duas telas de osciloscópio. A da esquerda mostra ruídos de modo comum superpostos ao sinal diferencial. Na da direita, os ruídos são de modo diferencial, e também estão superpostos ao sinal diferencial acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Descobrir se há ruídos num sistema é algo relativamente fácil. Já não tão fácil é descobrir se eles são de modo comum ou diferencial.

Apenas com essa informação poderemos orientar todos os nossos esforços para a obtenção da solução adequada. A figura 9.12 representa duas telas de osciloscópio, uma com ruído de modo diferencial, e outra com ruído de modo comum.

Também é bom lembrarmos que a maioria dos casos de ruídos induzidos nas linhas CA por radiação eletromagnética é de modo comum. Já os ruídos induzidos em outros cabos pelas linhas CA tendem a ser de modo diferencial.

9.6.2 Acoplamento Capacitivo Já tivemos oportunidade de discutir o acoplamento capacitivo o suficiente para sabermos que ele cria uma voltagem de ruído na vítima.

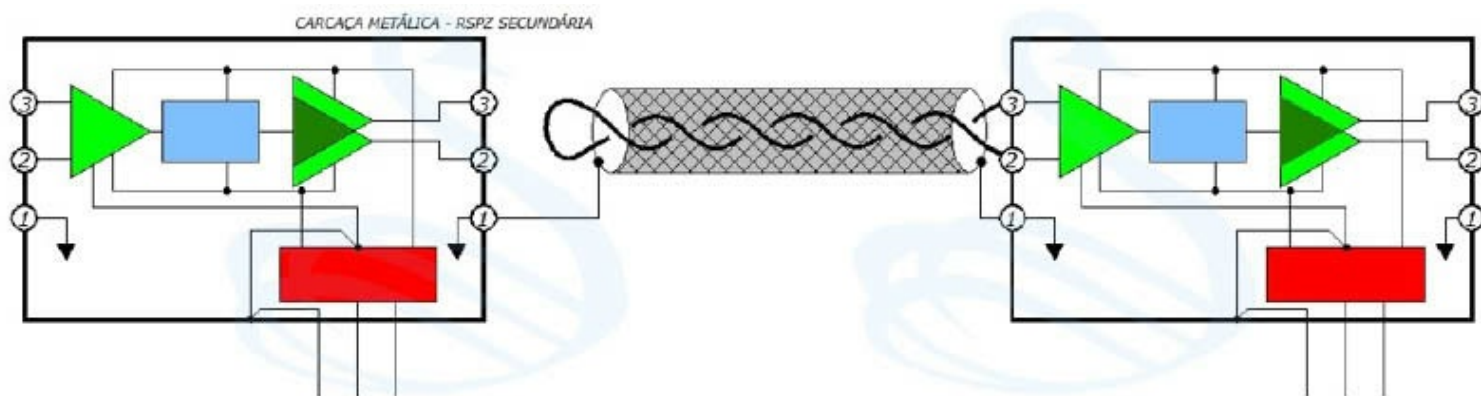


figura 9.13 cabo de interligação curto-circuitado na fonte, para efeito de avaliação de acoplamento de campo elétrico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nem sempre é possível ou prático aplicar o teste descrito no item 9.3.3. Quando isso ocorrer, e se tivermos a menor suspeita de que um determinado aparelho de um sistema está sendo vítima dessa forma de acoplamento, podemos fazer um outro teste de verificação bastante simples. Para entendê-lo, basta lembrar que o acoplamento

capacitivo, ou de campo elétrico, é relacionado com voltagem.

Logo, o teste consiste em curto-circuitar a linha balanceada que o alimenta, como mostra a figura 9.13.

Se com isso o ruído for consideravelmente reduzido, então saberemos que é mesmo um ruído acoplado por mecanismo capacitivo, já que o curto elimina grande parte da voltagem de ruído.

Se fosse um ruído acoplado indutivamente, a corrente continuaria a circular, e praticamente não haveria qualquer atenuação de ruído.

Os conectores que podemos considerar como referência, dos quais podemos dispor para executar mais facilmente este teste são aqueles que, conectados aos conectores das extremidades desligadas das linhas balanceadas, as colocarão em curto-circuito.

Podemos montar diversos tipos de conectores curto-circuitados, e muitas vezes será preciso ter mais do que uma só unidade de cada tipo.

9.6.3 Acoplamento Indutivo Também já discutimos bastante as condições de ocorrência de acoplamento indutivo. E vimos que ele cria uma corrente de ruído na vítima.

Na sequência do teste anterior, e diante da suspeita de que um aparelho de um sistema está sendo vítima de acoplamento indutivo, há um outro teste de verificação a ser aplicado, que como o anterior, é bastante simples.

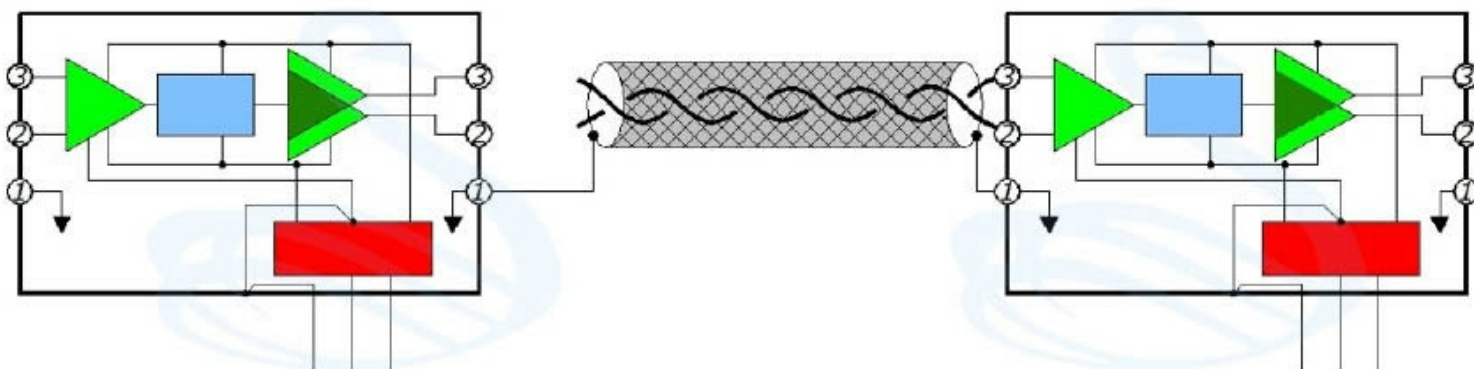


figura 9.14 cabo de interligação aberto na fonte, para efeito de avaliação de acoplamento de campo magnético acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vamos lembrar que o acoplamento indutivo, ou de campo magnético, é relacionado com corrente. Assim podemos entender o teste com facilidade.

Basta abrir a linha balanceada que o alimenta, como na figura 9.14.

Se o ruído for consideravelmente reduzido, saberemos então que sua forma de acoplamento é mesmo a indutiva, já que o circuito aberto elimina a possibilidade de circulação de corrente.

E se fosse um ruído capacitivamente acoplado, a voltagem seria mantida, mesmo com o circuito aberto, e praticamente não haveria atenuação de ruído.

Para executar esse teste não precisamos de conectores referência, uma vez que com as linhas desligadas, elas já estarão automaticamente abertas.

Weston propõe uma fórmula bastante simples para avaliarmos a natureza do acoplamento

em cabos.

Quando o valor da impedância de saída da fonte multiplicado pelo da impedância de entrada da carga elevado ao quadrado for inferior a 300, as chances são de que o acoplamento seja principalmente magnético.

Quando esse número for superior a 10.000, então as probabilidades são de que a predominância seja de acoplamento elétrico.

Valores intermediários, entre essas duas marcas, apontam para uma possível combinação de acoplamentos.

9.6.4 Acoplamento por Impedância Comum Inicialmente, e como vimos antes, devemos ter em mente que esta é a única forma de acoplamento de ruído que se dá através de condutores elétricos, já que todas as demais são transmitidas pelo ar.

Vimos também que há inúmeros caminhos óbvios para a condução desse tipo de acoplamento em qualquer sistema.

E infelizmente, uma série de outros, de difícil identificação. Como os condutores 0VA dos aparelhos.

Embora seja um pouco trabalhoso, um exame cuidadoso e de mais profundidade feita no diagrama de blocos do sistema que estamos analisando surte sempre excelentes resultados, particularmente por sua capacidade reveladora.

Entretanto, para fazermos isso da maneira correta, geralmente precisamos contar com a cooperação dos fabricantes de aparelhos, que poderão prestar esclarecimentos sobre dúvidas a respeito da circuitação de seus produtos, particularmente as de entrada e de saída.

Na prática, essas dúvidas costumam surgir em abundância.

Como contrapartida, podemos oferecer aos fabricantes os resultados de nossas conclusões, num trabalho de ajuda mútua, e que interessa acima de tudo aos usuários.

9.6.5 Ruídos Gerados nos Aparelhos e Interligações A figura 9.15 mostra dois metais diferentes, fisicamente unidos, pelos quais passa uma corrente elétrica.

A presença de umidade e/ou vapor d'água no ar podem produzir o mesmo efeito químico que o das pilhas secas, mas na junção dos metais. E isto é o que se chama ação galvânica.

O resultado prático da ação galvânica, que não ocorre incondicionalmente, é a geração de uma voltagem de ruído.

Em verdade, sua ocorrência depende da existência simultânea das seguintes condições:

- existência de um anodo e de um catodo
- existência de um eletrólito, ou algo que seja equivalente a ele
- conexão eletricamente condutiva entre anodo e catodo

É fácil concluir que a solda dos condutores metálicos nos terminais dos conectores, e a simples inserção entre dois conectores de gêneros opostos, um macho e outro fêmea, podem ser agentes de corrosão galvânica.



figura 9.15 condições para ocorrência de ação galvânica entre dois metais não similares acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mas esse não é o único problema que a junção de dois metais pode provocar. Além disso, há duas formas de corrosão metálica.

A corrosão galvânica provoca a migração de íons positivos de um metal para outro. O que aos poucos vai corroendo um deles.

tabela 9.4

GRUPO	SÉRIE	METAL
I	1	Magnésio
II	2	Zinco
II	3	Aço galvanizado
II	4	Alumínio 2S
II	5	Cádmio
II	6	Alumínio 17ST
III	7	Aço
III	8	Ferro
III	9	Aço inox
III	10	Solda (chumbo-estanho)
III	11	Chumbo
III	12	Estanho
IV	13	Níquel
IV	14	Latão
IV	15	Cobre
IV	16	Bronze
IV	17	Ligas cobre-níquel
IV	18	Ligas monel
IV	19	Solda de prata
IV	20	☒ Níquel passivo
IV	21	☒ Aço inox passivo
V	22	Prata
V	23	Grafite
V	24	Ouro
V	25	Platina

O metal torna-se passivo após imersão numa solução ácida fortemente oxidante A susceptibilidade à corrosão acompanha a série galvânica, estabelecida na tabela 9.4.

Assim, o magnésio é o metal mais facilmente corrosível, e a platina o menos.

Quanto mais afastados estiverem os materiais na série, maior será a corrosão. Que também aumenta com o grau de umidade do ar.

O segundo tipo de corrosão é devido à ação eletrolítica. O que só ocorre com a passagem de corrente CC pelos metais, e mesmo assim, apenas na presença de um eletrólito. Como nos

grandes centros urbanos o teor do ar já é consideravelmente acidulado, a própria umidade natural do ar é o suficiente para desenvolver eletrólitos capazes de desencadear reações corrosivas em grau indesejável.

A intensidade desta forma de corrosão não depende de que metais estão unidos, nem de sua posição na série galvânica, mas tão somente da intensidade da corrente elétrica e da condutividade do eletrólito.

9.7 TÉCNICAS DE COMBATE

9.7.1 Escolhas dos Aparelhos Agora estamos interessados em saber que novos ingredientes devemos adicionar aos critérios de escolha de aparelhos discutidos em outros trechos deste livro, de modo a que também possamos afastar ao máximo os problemas de IEM.

As impedâncias de saída dos aparelhos fonte serão preferencialmente de baixa impedância, tipicamente $50\ \Omega$, o que nos possibilita, adicionalmente, trabalhar com o sistema bridged, discutido no capítulo 8.

Também é de todo recomendável que se avalie a topologia dos circuitos de saída (fonte) e de entrada (carga) de todos os aparelhos pré selecionados. Os principais elementos a considerar são aqueles discutidos no mesmo capítulo 8.

O objetivo principal disso é extrair o máximo de vantagem de cada interligação, evitando a ocorrência de IEM exatamente nos pontos onde os aparelhos são mais vulneráveis.

Do ponto de vista específico de controle de ruídos, é de importância capital e absolutamente desejável que sejam escolhidos apenas aparelhos totalmente isentos de problema de pino 1.

Ou seja, aparelhos cujos pinos 1 dos conectores de entrada e de saída não sejam levados para o RSPZ da circuitação, mas estejam diretamente ligados às respectivas carcaças.

Quando não se souber se este ou aquele aparelho é ou não portador desse mal, é recomendável aplicar testes simples para verificar o efeito de ruídos existentes nos elos de terra externos sobre os aparelhos. Com esse propósito, é possível simular facilmente ruídos nas linhas de terra com transformadores, por exemplo ligando-se enrolamentos secundários em série com os condutores de terra. Para quem quiser fazer esses testes, recomendo ruídos de 60 Hz com níveis típicos de 100 mA e máximos de 1,0 ampère.

Na eventualidade de não haver alternativas, é importante se assegurar de que o problema pode ser controlado posteriormente. O que se faz por análise das circunstâncias a que cada sistema será submetido. Inclusive por alterações de circuitação.

Entretanto, isso deve ser feito sem que o fabricante imponha restrições a quaisquer títulos, especialmente perda de garantia.

Com relação aos cabos de interligação, inúmeros fatores são os determinantes da escolha.

Por exemplo, numa instalação permanente poderão prevalecer os fatores facilidade de passagem de chicotes por eletrodutos, e grau de resistência mecânica da jaqueta dos cabos.

Em sistemas móveis o principal fator é a durabilidade do material.

Sabemos que as características físicas e construtivas dos cabos estabelecem seu grau de influência nos níveis de ruído finais dos sistemas.

Entretanto, este fator dificilmente é levado em conta durante a fase de escolha. Fica, portanto, o alerta.

Essa deve ser uma preocupação de relevo se pretendemos lidar de forma adequada com os ruídos. E muitas vezes, a simples substituição de cabos é uma técnica que traz resultados surpreendentes.

Do ponto de vista de IEM, os conectores constituem as partes mais frágeis de quaisquer sistemas.

Com o tempo, a oxidação ataca os metais dos conectores, geralmente na forma de criação de películas de materiais óxidos. Isso enfraquece as conexões mecânicas, e prejudica sobremaneira a condução dos sinais. A regra é não economizar com tais acessórios. E além disso, não desleixar com as manutenções futuras.

9.7.2 Interligações e Cabos **9.7.2.1 Cuidados Adicionais** Devemos estar absolutamente conscientes para o fato de que as interligações entre os equipamentos constituem um elemento decisivo para a proteção contra a IEM do sistema como um todo.

Assim, quando elas são feitas apenas com o objetivo de transferir energia de um equipamento para o próximo na cadeia do áudio, sem que se avalie ao máximo todas as suas possíveis consequências, é muito provável que o sistema acabe bem mais vulnerável a IEM do que seria possível com exames mais cuidadosos. Isso tende a ser tão mais verdadeiro quanto mais complexo é o sistema.

Entretanto, estudar carinhosamente as interligações não garante a ausência de problemas de IEM. Mas certamente, reduz consideravelmente as chances de sua ocorrência em graus exagerados. Além de tornar mais fácil soluções eventualmente necessárias a posteriori.

Portanto, é recomendável que todo o material discutido no capítulo 8 seja devidamente compreendido e aplicado.

9.7.2.2 Os Pares Torcidos e a Origem de Sua Eficácia Logo que as primeiras linhas telefônicas mais longas foram instaladas, as companhias telefônicas já começavam a se defrontar com inesperadas consequências da IEM.

Os problemas se mostravam mais graves para linhas mais longas, mas atingia a todas elas. Os ruídos atrapalhavam muito as comunicações, e frequentemente as impediam por completo.

A ideia de poder falar a distância era tão boa que acreditava-se, não seria esse desafio que a faria desmoronar.

Os engenheiros de telecomunicações foram chamados. E rapidamente se puseram em campo para superar o novo obstáculo.

Vimos que os campos elétricos produzem voltagem entre o condutor interferido e a terra, e que campos magnéticos produzem voltagem em série ao longo do condutor interferido. E analisamos detalhadamente como funcionam esses mecanismos de acoplamento.

Bem, as linhas telefônicas mais longas apresentavam uma peculiaridade, que já era de se esperar.

Pensemos numa linha telefônica com 2 fios, bastante longa. Digamos, uns 10 km.

Até por uma questão de disposição física, qualquer condutor interferente que estivesse nas proximidades da linha, como por exemplo um cabo de alta voltagem, ficava sempre mais próximo de um dos condutores da linha do que do outro.

proteção contra interferências de campos elétricos E se aplicarmos nossos conhecimentos de campo elétrico às linhas telefônicas, podemos pensar num modelo bastante representativo, como o da figura 9.16.

Vamos continuar usando nossa mesma nomenclatura. Portanto, o condutor **a** é o interferente, e os condutores **b** e **c** representam o par de condutores da linha telefônica.

Em nossa figura, o condutor **a** está mais próximo de **b** do que de **c**.

Por isso, a magnitude da voltagem V_b é maior do que a de V_c .

Essas duas voltagens são de modo comum. E no final da linha, teremos uma voltagem de ruído igual a $V_b - V_c$, que agora, passa a ser de modo diferencial. Portanto, processada pelo sistema telefônico.

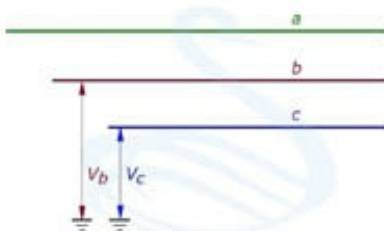


figura 9.16 mecanismo básico de acoplamento capacitivo numa linha telefônica a 2 fios acervo do engº

Luiz Fernando O. Cysne Ao descobrir esse fenômeno, e ao compreendê-lo, os engenheiros logo perceberam que a única coisa que teriam que fazer era encontrar um modo de instalar as linhas telefônicas de forma tal que seus dois condutores estivessem igualmente espaçados de quaisquer possíveis condutores interferentes. Estivessem estes em quaisquer lugares.

A solução encontrada, denominada transposição, é representada na figura 9.17.

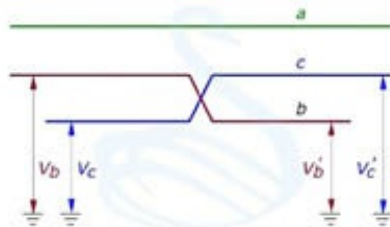


figura 9.17 situação da figura 9.16 com transposição de condutores acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Até um certo local, os condutores b e c caminham normalmente. Nesse local, é feita a transposição. Isto é, c passa a seguir o trajeto antes destinado a b, e b passa a seguir o trajeto antes destinado a c.

Aparentemente, a transposição é apenas uma simples troca de lugares dos dois condutores. Mas vejamos o que acontece com as voltagens desenvolvidas nesses condutores transpostos.

É fácil depreender da figura que $V_b = V'_c$ e que $V_c = V'_b$.

Os primeiros cálculos feitos pelos engenheiros estavam baseados no seguinte raciocínio.

A voltagem total no condutor **b** deveria ser $V_b + V'_b$, e no condutor **c** deveria ser $V_c + V'_c$.

E agora a diferença seria $(V_b + V'_b) - (V_c + V'_c)$.

Como dentro do primeiro parêntesis estavam sendo somados dois valores exatamente iguais aos dois valores também somados dentro do segundo parêntesis, a diferença deveria ser nula. Ou seja, não deveria haver voltagem de ruído.

Mas o fato é que a prática mostrava que o ruído, embora atenuado, continuava presente, e ainda, suficientemente elevado a ponto de incomodar bastante.

Os estudos continuaram, agora levando em conta que as linhas telefônicas eram construídas com condutores elétricos, e que por isso mesmo apresentavam suas próprias impedâncias em série.

Um dos circuitos equivalentes mais simplificados de linha telefônica com transposição, consideradas suas impedâncias, é o que mostra a figura 9.18.

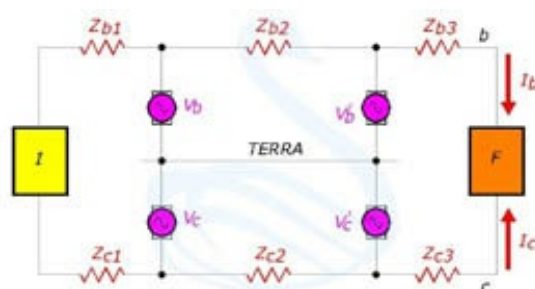


figura 9.18 circuito equivalente simplificado de linha telefônica com transposição, para análise de acoplamento capacitivo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O retângulo com a inscrição I simboliza o início da linha, e o com a inscrição F simboliza o final da linha.

As impedâncias dos condutores **b** e **c** estão distribuídas ao longo do trajeto de toda a linha.

Para fazermos a análise a partir de um circuito equivalente, podemos fazer a distribuição dessas impedâncias como mostra a figura.

Isto é, a impedância do condutor **b** foi fragmentada em Z_{b1} a Z_{b3} , e a do condutor **c** fragmentada em Z_{c1} a Z_{c3} .

Para que essas impedâncias sejam todas aproximadamente iguais, os segmentos considerados também devem ter todos aproximadamente os mesmos comprimentos.

As diferenças $(V_b - V'_b)$ e $(V_c - V'_c)$ deveriam ser iguais. Como I_b resulta da diferença $(V_b - V'_b)$, e I_c resulta da diferença $(V_c - V'_c)$, era de se esperar que as correntes I_b e I_c fossem iguais.

Entretanto, em razão de desbalanceamentos naturais de impedâncias, são facilmente constatadas diferenças entre as impedâncias que separam o final da linha. O que provoca diferenças entre $(V_b - V'_b)$ e $(V_c - V'_c)$. Logo, as magnitudes das correntes I_c e I_b são diferentes. E essa diferença é puro ruído.

Torna-se óbvio que a maneira mais simples de reduzir a diferença das magnitudes dessas duas correntes é reduzindo as impedâncias dos segmentos de seus dois condutores.

A forma mais prática de conseguir isso é reduzindo o próprio comprimento físico dos segmentos dos condutores.

Ora, basta que se aplique à linha uma série de transposições sucessivas com espaçamentos relativamente pequenos. E aí teremos conseguido nosso objetivo.

Estão percebendo? Um par de fios torcidos nada mais é do que uma linha destas com uma série enorme de transposições sucessivas.

Cada segmento passa, então, a ter comprimento igual ao do passo de torção. E assim, o par torcido acabou por se transformar no padrão de linha telefônica em todo o mundo.

proteção contra interferências de campos magnéticos Vejamos agora como tudo isso se aplica aos campos magnéticos.

Com linha não transposta, as voltagens surgem como na figura 9.19.

Como no caso anterior, dada a maior proximidade entre **a** e **b** do que entre **a** e **c**, a voltagem V_b é maior do que V_c .

Por conseguinte, a diferença $(V_b - V_c)$ aparece no fim da linha como voltagem diferencial de ruído.

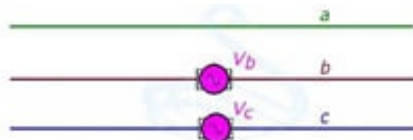


figura 9.19 mecanismo básico de acoplamento indutivo numa linha telefônica a 2 fios acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

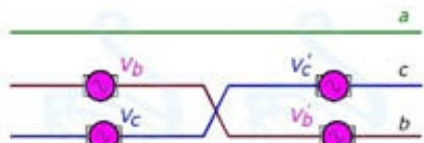


figura 9.20 situação da figura 9.19 com transposição de condutores acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As voltagens induzidas por campos magnéticos numa linha transposta são como mostra a figura 9.20.

Pelas mesmas razões que vimos no caso da defesa contra campos elétricos, $(V_b = V'_c)$ e $(V_c$

$= V_b)$.

O circuito equivalente dessa situação, já com as impedâncias dos condutores da linha, é o que mostra a figura 9.21.

Vemos que agora as impedâncias não produzem quaisquer diferenças entre as magnitudes de I_b e de I_c . Mas essa é uma ótica puramente teórica.

Pois diferenças entre as magnitudes dessas duas correntes poderão ser provocadas por eventuais desbalanceamentos entre as impedâncias dos dois condutores da linha. Assim, transposições sucessivas tendem a minimizar tais desbalanceamentos.

E novamente, colocado de maneira genérica, o par torcido é uma das melhores formas de maximizar o balanceamento de impedâncias.

Mas o melhor do par torcido contra os campos magnéticos não é isso.

Se considerarmos os termos da expressão 9.6, podemos entender que, para efeitos práticos, a torção do par efetivamente reduz a área do elo fechado da linha para zero. Que é o termo A da expressão.

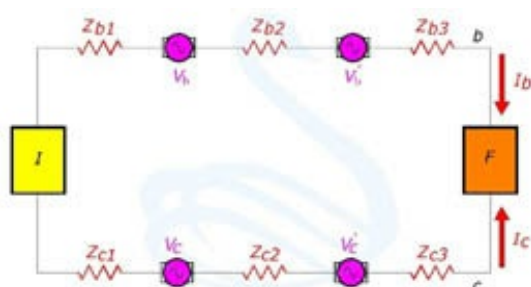


figura 9.21 circuito equivalente simplificado de linha telefônica com transposição, para análise de acoplamento indutivo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isso faz com que a captação seja por si só praticamente nula.

Por essa precisa razão, a torção dos condutores de uma linha é muitas vezes mais eficiente do que a blindagem magnética.

conclusões

Podemos concluir agora que, usando um par torcido, já teremos amplas condições de controle, tanto das interferências produzidas por campos elétricos, quanto por campos magnéticos.

Do ponto de vista de imunização contra os campos magnéticos, quanto mais forem as torções por unidade de comprimento de cabo, mais elevadas serão as frequências de ruído que estarão sob controle.

A tabela 9.5 mostra a redução de ruído induzido por campos magnéticos para pares com diversos passos de torção.

tabela 9.5

TIPO DE CABO TORÇÕES / metro	REDUÇÃO DE RUÍDO dB RELAÇÃO	
0	0	-
9,8	14:1	23,0
13,1	71:1	37,0
19,7	112:1	41,0
39,4	141:1	43,0

O aumento do passo de torção também aumenta o preço do cabo. Portanto, há um limite prático para isso.

Pelos dados da tabela 9.5, nota-se que a redução de ruído tende a uma certa estabilização a partir de 40 torções por metro de cabo.

Assim, utilizar cabo com tal passo já é uma excelente escolha.

Vemos então que a torção é mais importante no controle dos ruídos provocados por campos magnéticos do que a blindagem. Além de ser também um excelente meio de controlar os ruídos produzidos por campos elétricos.

Isso nos indica que é importante e conveniente que se preste muita atenção aos passos de torção, ao invés de escolhermos cabos apenas em função de suas bitolas e características da blindagem, e do material do qual é feita a jaqueta do cabo.

O que parece acontecer na maioria dos casos cotidianos de compra de cabos de pares torcidos com blindagem.

9.7.3 Blindagem e Algumas Técnicas

9.7.3.1 Uso de Bastidores

Uma das maneiras de aumentar a capacidade de blindagem dos sistemas de áudio é instalando os aparelhos em bastidores metálicos.

Com efeito, suas estruturas metálicas funcionam como um primeiro obstáculo de blindagem.

Portanto, os bastidores ideais são aqueles que apresentam chapas metálicas laterais, portas frontal e traseira, além de tampo superior e fundo inferior, todos com superfícies metálicas.

Bastidores de madeira ou de plástico, ou gabinetes tubulares podem ser úteis para manter os aparelhos organizados, e também bonitos, mas são inadmissíveis em sistemas profissionais.

Devemos estar atentos para um possível problema.

Os terras de circuito dos diversos aparelhos instalados no bastidor estão eletricamente ligados às respectivas carcaças metálicas.

E estas, por sua vez, também estão eletricamente ligadas ao barramento de terra do bastidor. Como os barramentos de terra de cada bastidor devem ser ligados às respectivas estruturas metálicas dos próprios bastidores, criam-se elos de terra. Além disso, como todas as carcaças metálicas dos aparelhos geralmente fazem contato elétrico com a estrutura também

metálica do bastidor que os contém, formam-se elos de terra adicionais.

Tantos quantas forem as combinações de caminhos envolvendo carcaças de aparelhos, terras de circuito, barramento de terra dos bastidores e respectivas estruturas metálicas.

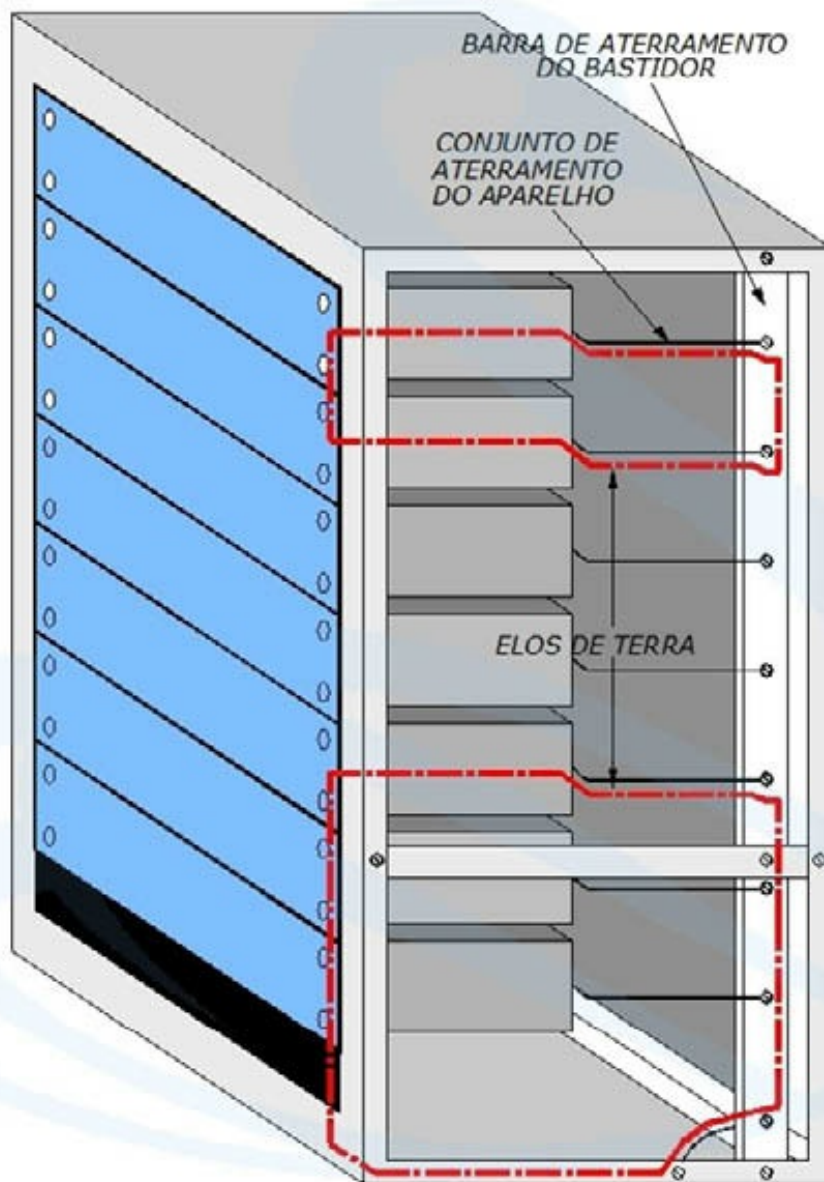


figura 9.22 bastidor metálico com múltiplos elos de terra. Estes, resultam dos vários caminhos para terra criados pelos contatos que as partes metálicas fazem entre si acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 9.22 ilustra esses elos de terra, criados em razão dos vários caminhos que passam a existir para a terra.

Entretanto, todos esses elos de terra são internos e fisicamente muito curtos.

E assim, não estão sujeitos a fortes campos interferentes, nem a grandes diferenças de potencial de terra.

Consequentemente, só em raríssimas ocasiões introduzem ruídos nos sistemas. Particularmente quando os aparelhos são balanceados e de baixa impedância.

Mas como existe a possibilidade de introdução de ruídos, precisamos saber quais são as técnicas usadas para evitar a inconveniência, quando for o caso.

Uma das técnicas mais empregadas é utilizar os lifts de terra de todos os aparelhos. Os jumpers costumam ser removidos, e o terra técnico é então diretamente ligado aos terras de

circuito através de um condutor dedicado.

A outra técnica consiste em isolar as carcaças dos aparelhos do bastidor, o que se faz facilmente com o emprego de parafusos, porcas, arruelas e espaçadores de nylon, ou de qualquer outro material isolante.

Neste caso, deve-se tomar especial cuidado para que não haja contatos intermitentes entre as partes metálicas que se quer isolar.

Esta última técnica é a que recomendo. Embora a anterior também seja bastante empregada, não a recomendo.

9.7.3.2 Compartimentalização Qualquer sistema profissional de áudio é composto de aparelhos que operam com diversos níveis de sinal de áudio.

Uma técnica de blindagem muito fácil de aplicar é agrupar os aparelhos por níveis diferentes, e instalar cada grupo num (ou mais) bastidor separado.

Em sua versão mais simples, essa técnica exige dois bastidores. Um para os amplificadores de potência, e outro para todos os demais aparelhos.

Desse modo, todos os aparelhos estarão protegidos pelas blindagens dos bastidores, porquanto a aplicação desta técnica possibilita efetivo controle sobre a interferência que os aparelhos operando com níveis mais elevados tendem a impor aos demais.

9.7.3.3 Blindagem de Faraday Quando o ambiente no qual o sistema de áudio está, ou vai ser instalado, é extremamente agressivo do ponto de vista de IEM, e se deseja uma relação S/R muito elevada, a instalação de uma blindagem de Faraday, ou gaiola de Faraday, pode trazer sensíveis reduções nos níveis de ruído dos sistemas técnicos, e dessa forma, sensíveis melhoras em seus desempenhos.

A gaiola de Faraday é apenas um revestimento de tela metálica de trama fina aplicada sobre todas as superfícies internas da sala onde o equipamento será instalado.

Quando houver mais do que uma sala, o tratamento pode ser feito com todas elas.

Em quaisquer circunstâncias, para cada ambiente ou conjunto deles, é imperativo que todos os pedaços de tela estejam totalmente interligados entre si, sem quaisquer falhas, para que a blindagem se comporte como um todo monolítico.

E para que surta efeito, deve ser aterrada.

Nem sempre o acabamento com tela metálica é apreciado.

Contudo, qualquer acabamento pode ser facilmente obtido, pois a tela pode ser revestida com quaisquer materiais eletricamente isolantes, inclusive alvenaria, sem que suas propriedades de atenuação de campos eletromagnéticos sejam sequer reduzidas.

As gaiolas de Faraday são mais facilmente instaladas durante a fase de construção civil dos prédios. Mas sua aplicação a salas e locais já existentes geralmente não apresenta grau elevado de dificuldade.

9.7.4 Aterramento Quando pensamos num sistema formado por vários aparelhos, todos interligados eletricamente, concluímos que deve haver, necessariamente, uma única referência elétrica para todos os aparelhos. Por medida de segurança essa referência elétrica deve ser aterrada.

O termo **terra** é mesmo um caso único e muito especial.

E por isso merece um tratamento distinto.

A partir do início deste século ele já frequentava as literaturas técnicas publicadas mundo afora.

Sem qualquer sombra de dúvida, antes da era do consumo eletrônico em larga escala, o termo **terra** significava uma ligação elétrica feita deliberadamente para o solo terrestre.

O que se fazia com o objetivo de minimizar os riscos de morte resultantes dos efeitos produzidos pela energia dos relâmpagos.

E também, para controlar o acesso de sobrevoltagens ao interior dos prédios via fiação dos sistemas de energia, além, naturalmente, de oferecer proteção para vidas humanas em casos de acidentes. Inclusive curtos-circuitos.

Com o aumento da oferta de produtos eletrônicos em geral, o que se fez acompanhar pela crescente complexidade dos sistemas eletrônicos, o termo terra passou a ser empregado com uma grande variedade de significados, muitos deles confusos, contraditórios, e até mesmo errôneos.

De fato, para acompanhar a dinâmica natural das coisas, o conceito de aterramento deve ser encarado por várias perspectivas diferentes. E a cada contexto caberá uma definição mais apropriada.

Exatamente por isso, Ralph Morrison escreveu “Para as empresas de energia, a palavra terra significa um condutor ligado para a terra, ou para o solo terrestre”.

Em eletrônica isto pode não ser um requisito essencial, embora muitos terras eletrônicos sejam mesmo ligados ao solo terrestre.

A terra é um condutor de referência para um circuito.

Essa referência pode ser um lado da fonte de alimentação, um tap central de transformador, ou o quadro estrutural de um bastidor metálico.

Também podem existir muitas referências de circuito, ou terras, em apenas um único circuito, ou sistema.

Terras também podem flutuar. Isto é, podem ter pouca ou nenhuma associação com outros circuitos, ou mesmo com o solo terrestre.

Henry W. Ott nos oferece duas definições de terra no contexto intrínseco da eletrônica:

- o terra ideal seria um ponto ou superfície equipotencial que servisse como referência de potencial para um circuito ou sistema
- no mundo real, a aplicação prática do terra seria um caminho de baixa impedância para que a corrente elétrica pudesse retornar à sua origem

Com base nestas duas definições, seria bom lembrarmos que, num circuito, a fonte de alimentação se comporta como um supridor de corrente elétrica para cada estágio do circuito.

E principalmente, que essas correntes circulam por partes fisicamente diferentes do sistema, geralmente formando mais do que um só elo fechado.

Portanto, se pretendemos ter sucesso com o controle de ruídos de um sistema de áudio, devemos saber por onde circulam essas correntes.

Do ponto de vista de segurança, o National Electric Code define terra como “Uma conexão intencional ou não entre um circuito elétrico ou equipamento e o solo terrestre, ou um corpo condutor que sirva como terra”.

No contexto de um sistema maior, cada uma dessas definições é válida.

Convém termos em mente que terra, com o sentido de solo terrestre, embute a noção universal de uma referência para potenciais elétricos.

Conceito que se apoia na capacidade praticamente infinita que nosso planeta exibe de absorver energia sem qualquer alteração de resistência ou de impedância. Ao que vale dizer, sem variar seu potencial.

9.7.4.1 Terminologia aterramento de equipamento (equipment grounding) De acordo com o dicionário padrão do IEEE (STD 100-1984), o aterramento de equipamento é o conjunto das conexões que levam à terra quaisquer partes metálicas de um sistema de transmissão de energia, ou partes e estruturas metálicas ligadas a ele, que em condições normais de operação **não** portam corrente elétrica aterramento técnico (technical grounding) O mesmo que sistema técnico de terra sistema de terra de equipamento (equipment ground system) Sistema que junta todos os itens metálicos de infraestrutura de um sistema de energia, como eletrodutos, eletrocalhas, caixas e painéis de parede, chassis intermediários, gabinetes, e os liga à terra e ao aterramento de sistema.

É totalmente separado do terra técnico.

sistema técnico de terra (technical ground system) O termo refere-se a procedimentos e práticas especiais, bem como a materiais em geral, usados em qualquer aterramento

destinado exclusivamente a sistemas técnicos, como os de áudio, os de vídeo, redes de computadores, etc.

terra de equipamento (equipment ground) O mesmo que aterramento de equipamento

terra estrutural

O terra provido pela estrutura metálica de um prédio, que durante a construção da edificação será sempre aterrada.

terra técnico (technical ground) Termo que se refere à parte de qualquer sistema de energia, inclusive seus painéis e demais equipamentos, dedicada apenas à finalidade de fornecer aterramento exclusivo para sistemas técnicos, como os de áudio, os de vídeo e as redes de computadores.

Sua função principal é oferecer segurança, e ainda, se portar como uma referência estável para circuitos, como os de áudio, e se possível, constituir blindagens eficientes, mesmo sob influência de IEM.

9.7.4.2 Porque Aterrar os Sistemas de Áudio?

Se alguém afirmar que conexões elaboradas e complicadas entre um sistema de áudio e a terra são imprescindíveis para que tenhamos operação de qualidade e isenção de ruídos, não acredite. Isso não é verdade.

Afinal, há sistemas eletrônicos extremamente complexos, como os das aeronaves, os dos automóveis, e de todos aqueles portáteis, energizados por baterias, que operam muito bem sem qualquer ligação com o solo terrestre.

Não é verdade?

Entretanto, sabemos que o aterramento é necessário, antes de mais nada, por questões de segurança de vidas humanas.

Exatamente por isso é importantíssimo ressaltar que os aterramentos de segurança de quaisquer sistemas de áudio devem estar permanentemente em condições operacionais, e em perfeito estado de conservação.

Falhas temporárias ou quedas circunstanciais de qualidade a quaisquer títulos simplesmente não são toleráveis.

Todas estas assertivas sugerem um enfoque exclusivo pelo ponto de vista de distribuição de energia. Portanto, ainda sem considerações quanto a interferência de ruídos elétricos.

Isto porque, quando o engenheiro de áudio começa a pensar no esquema de aterramento a ser aplicado a qualquer aparelho ou sistema, os requisitos de segurança **necessariamente** terão que prevalecer.

Por outro lado, quando falamos em sistemas técnicos, como os de áudio, é preciso e

fundamental que o sistema de aterramento seja uma conexão estável e de baixa impedância para a terra, com o propósito de permitir o controle da IEM.

Uma conexão bem feita entre um sistema de áudio e a terra é um caminho bem definido para correntes de fuga, eventualmente acopladas ao sistema pela fiação do prédio e por outros equipamentos.

Através desse caminho bem definido essas correntes retornam para sua origem, que é a terra.

Não se pode imaginar que tal caminho seja compartilhado com sinais de áudio ou quaisquer outros sinais.

9.7.4.3 Simbologia Antes de prosseguirmos com este assunto, devemos saber o que representam os principais símbolos empregados para indicar as ligações dos aterramentos.

Eles são usados nos diagramas de blocos, nos diagramas de aterramento, e também nos esquemáticos de aparelhos.

Razão pela qual é imperativo que os tenhamos em mente.

A figura 9.23 mostra os casos mais comuns, bem como respectivos significados.

Procure memorizá-los e associar os respectivos significados a cada figura.

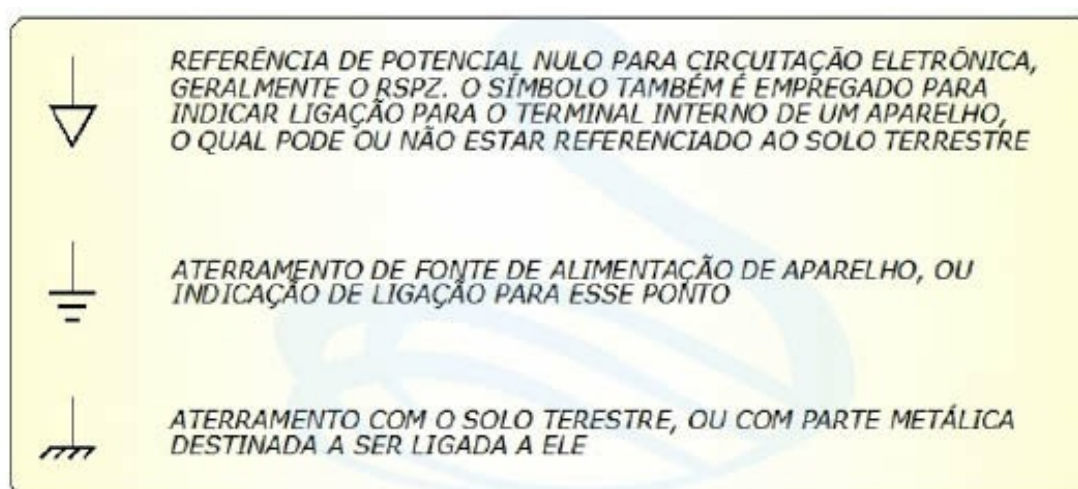


figura 9.23 símbolos utilizados para indicar algumas formas de aterramento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isso será bastante útil, pois todos esses símbolos também aparecem com muita frequência em qualquer literatura técnica, nos folhetos dos fabricantes, e até mesmo serigrafados nas carcaças dos aparelhos.

9.7.4.4 Lifts de Terra aparelhos

Muitos aparelhos já saem de fábrica dotados de um ou mais lifts de terra, que podem ser ou não utilizados pelos usuários.

É o que nos mostra a figura 9.24. Nesse exemplo, dois dos lifts são das blindagens dos cabos, e o outro é do de terra de circuito.

O uso combinado desses lifts permite que o aparelho seja adaptado para trabalhar com

inúmeros esquemas de aterramento. Quando dois equipamentos dotados de lifts devem ser interligados, também é possível pensar em várias formas de interligação entre eles.

A aplicação da regra SUE com equipamentos dotados de lift também fica sobremaneira facilitada.

Mas veremos que os benefícios dos lifts devem só se fazem presentes quando eles são utilizados com correção.

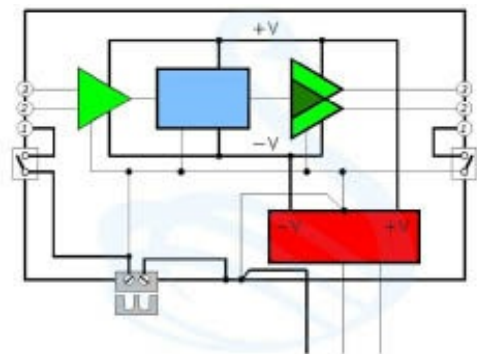


figura 9.24 ilustração de aparelho de áudio com lifts de terra acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne blindagem

O lift de blindagem é usualmente obtido por atuação de uma chave miniaturizada, fisicamente instalada próxima ao conector, e eletricamente ligada entre o pino 1 do correspondente conector e o terra de circuito.

Em sua posição fechada, a blindagem do cabo fica eletricamente ligada ao terra de circuito e à carcaça do aparelho.

Quando aberta, isola o pino 1 do conector, o que, em condições normais de conectorização, possibilita que a blindagem do cabo de interligação seja colocada em flutuação com relação à terra.

Quando o aparelho possui este recurso, é sempre recomendável que as chaves fiquem em suas posições fechadas e, diante de eventuais problemas, se estude cuidadosamente as vantagens e desvantagens de usá-las em posição aberta.

lift de terra de circuito O lift de terra de circuito é obtido através de chave ou de jamper de ligação, usualmente em forma de borneira de parafusos, como sugere a figura 9.24.

A chave ou jamper interliga o terra de circuito com a carcaça do equipamento.

Esta é uma de suas funções.

A outra é possibilitar a flutuação do terra de circuito, que pode ficar isolado da carcaça do equipamento quando a chave está em sua posição aberta, ou quando o jamper é retirado.

A alternativa do jamper é tecnicamente muito superior à da chave, pois com ele removido, o acesso ao terra de circuito é muito fácil, geralmente feito através da própria borneira de parafusos ou de blocos de terminais.

Isso é preciso porque, na maioria dos casos, esse terra deverá ser ligado a um terra técnico

local, por meio de um condutor dedicado.

Quando há chaves, e não jumpers, o acesso ao terra de circuito não é obtido com a mesma facilidade.

Neste caso, geralmente o acesso só pode ser conseguido através do pino 1 do conector. O que é uma situação muito arriscada, porque a referência de sinal poderá ser dada pelo terra da blindagem de entrada. Esta é uma das razões pelas quais é recomendável que a chave fique sempre em sua posição fechada, ou no caso do jamper, que esse permaneça instalado.

Quando a referência de sinal é dada pelo terra da blindagem de entrada, não estando esta ligada em suas duas extremidades, o terra de circuito poderá ficar em flutuação, e nessas circunstâncias, o circuito torna-se muito vulnerável à IEM.

A propósito, convém mencionar que a obtenção do aterramento de circuito via terra de blindagem de cabo é prática virtualmente desastrosa.

9.7.4.5 Esquemas de Aterramento Nesta seção vamos discutir os principais esquemas de aterramento que podem ser aplicados aos sistemas de áudio, e avaliar suas vantagens e desvantagens.

Mas devemos entender que cada esquema de aterramento possui suas próprias características, geralmente aplicáveis a determinadas configurações de sistemas de áudio.

Por isso mesmo, não é possível simplesmente definir um esquema de aterramento como sendo o mais adequado para todo e qualquer sistema de áudio.

esquema terra flutuante A figura 9.25 ilustra este esquema, que se caracteriza pela isolamento elétrica entre o aterramento de circuito e o aterramento de segurança.

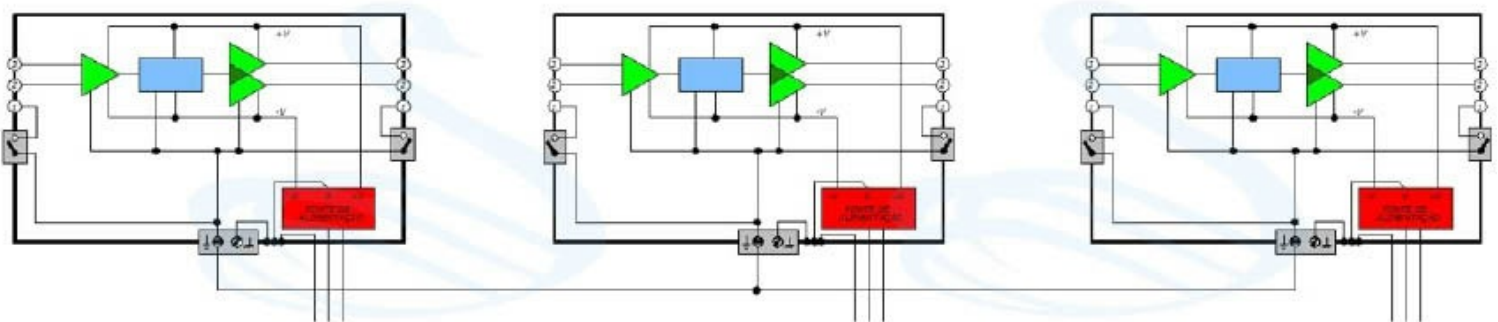


figura 9.25 esquema de aterramento Terra Flutuante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Assim, ruídos eventualmente presentes neste último estarão relativamente bem isolados do aterramento de circuito.

A técnica é muito eficaz, mas de aplicação limitada, já que não pode ser aplicada à maioria dos casos.

De fato, é preciso que os terras de circuito de todos os aparelhos componentes do sistema possam ser alterados para a condição de flutuação. Ou seja, deverão estar isolados das carcaças.

Isso pode ser conseguido com certa facilidade em pequenos sistemas, com quantidade limitada de aparelhos.

Mas seu grau de dificuldade aumenta exponencialmente com o aumento da quantidade de aparelhos do sistema.

Além disso, expansões futuras ficam condicionadas ao emprego de aparelhos com facilidade de flutuação e acesso ao terra de circuito.

Nos pequenos sistemas, a probabilidade é que o terra flutuante não apresente problemas.

Mas não se pode dizer o mesmo dos sistemas de médio e de grande porte, nos quais a tendência é de que o terra de circuito tenha que ser ligado ao solo terrestre.

O melhor meio de fazer isso é ligar o terra de circuito a um terra técnico, o que pressupõe que ele exista.

Mas dessa maneira, o terra não será mais flutuante, pois estará referenciado à terra.

esquema terra de ponto único

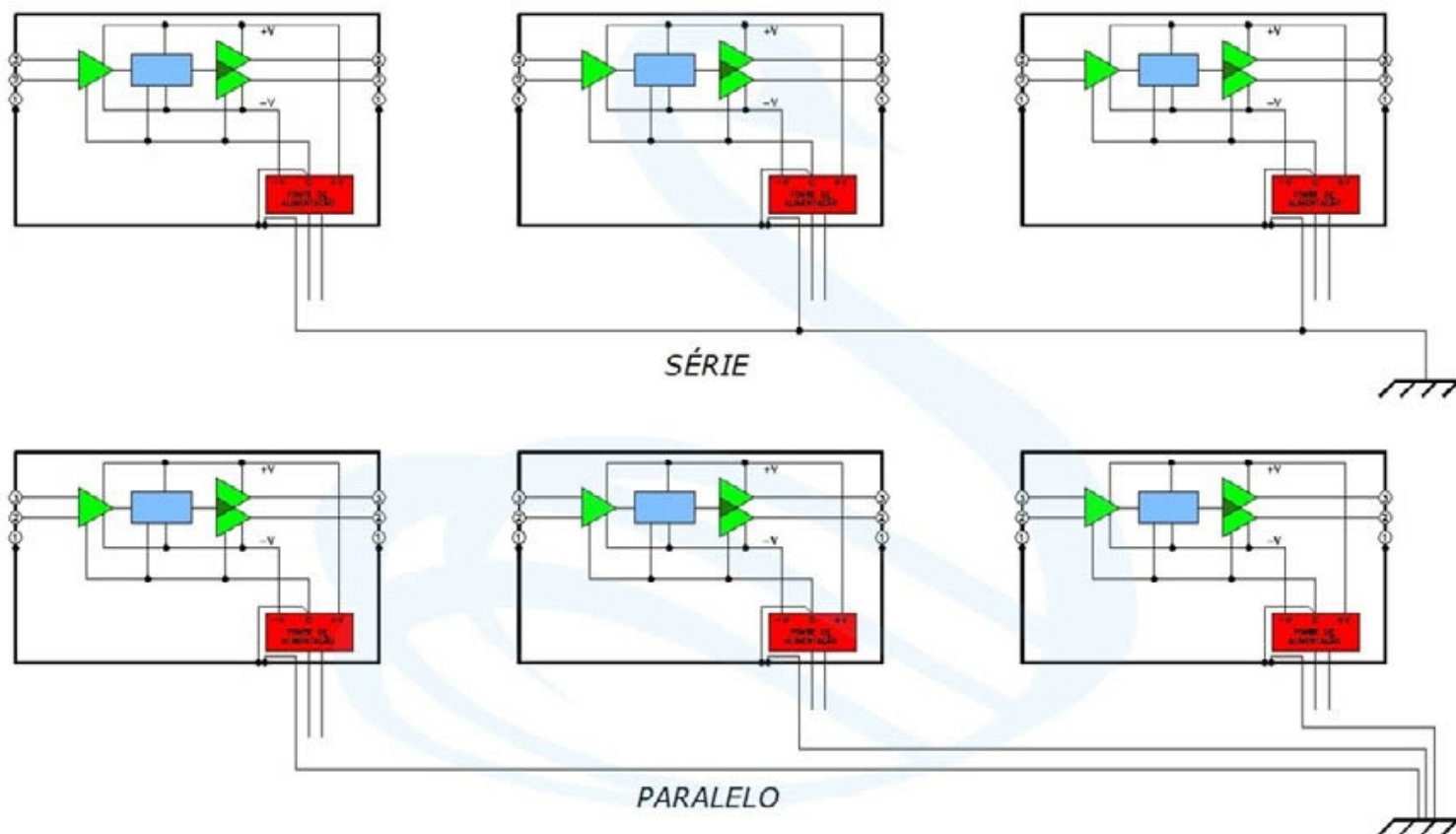


figura 9.26 esquema de aterramento Terra de Ponto Único Desenho superior - configuração série
Desenho inferior - configuração paralelo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como o próprio nome sugere, o esquema terra de ponto único é aquele no qual os terminais de aterramento de todos os aparelhos de um sistema são ligados a um único terra, que é o ponto único.

Uma vez que esse é um dos esquemas mais empregados na prática, vamos nos deter um pouco mais em sua análise.

Sobretudo nas diferenças entre suas variações.

Veremos também quais são as principais limitações de ordem técnica para cada uma dessas variações.

Como mostra a figura 9.26, há duas configurações mais utilizadas de esquema de aterramento de ponto único. A série e a paralela.

Estude a figura e procure entender os motivos que determinam as possíveis vantagens e desvantagens de uma configuração em relação a outra.

A figura 9.27 mostra um circuito equivalente simplificado da configuração série, com Z_1 , Z_2 e Z_3 representando as impedâncias dos segmentos dos condutores de aterramento.

I_1 , I_2 e I_3 são as correntes de terra provenientes dos aparelhos 1, 2 e 3, respectivamente.

O potencial elétrico no ponto C é

$$V_C = Z_3 \times (I_1 + I_2 + I_3)$$

No ponto A o potencial é

$$V_A = Z_3 \times (I_1 + I_2 + I_3) + Z_2 \times (I_1 + I_2) + Z_1 \times I_1$$

Assim, vemos que podem haver consideráveis diferenças de potencial elétrico no condutor de aterramento desta variante, especialmente em sistemas de médio e grande porte.

Por essa precisa razão, do ponto de vista de controle de ruído, essa variante se constitui num dos piores arranjos possíveis.

Mas por ser de implementação relativamente fácil, é uma das mais utilizadas. Em sistemas de quaisquer portes. Para pequenos sistemas, sua utilização dificilmente chega a comprometer.

Recomendo que essa variante não seja empregada, particularmente quando os aparelhos trabalham com níveis muito diferentes de potência, como pré-amplificadores de microfones e amplificadores de potência.

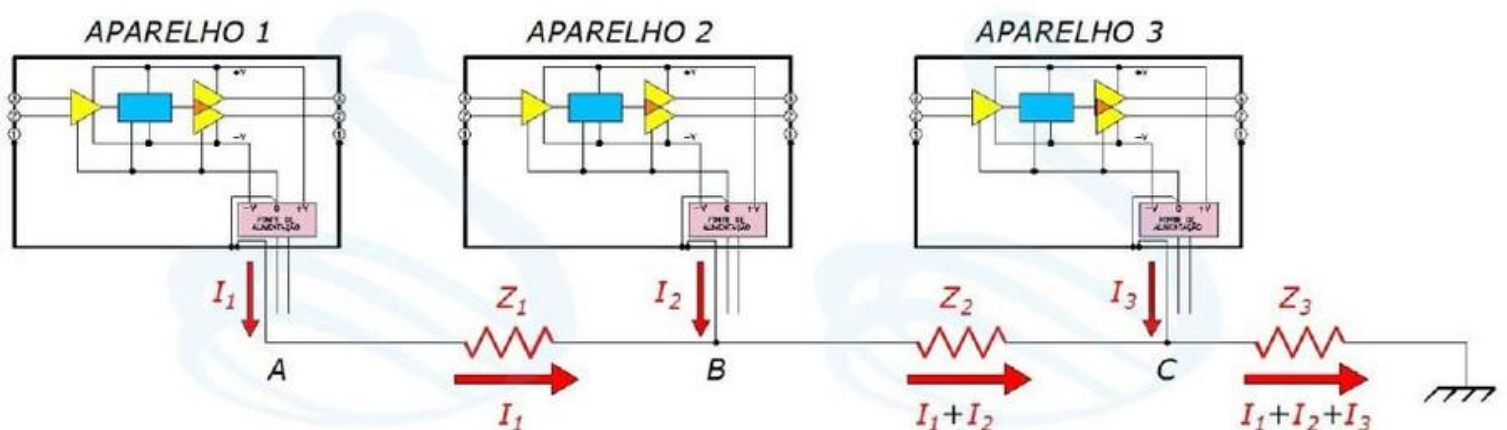


figura 9.27 circuito equivalente do aterramento terra de ponto único, configuração serie acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Arazão é que os aparelhos de alta potência podem criar correntes de terra excepcionalmente elevadas, capazes de afetar consideravelmente os aparelhos de baixas potências.

O circuito equivalente simplificado da variante paralelo está representado na figura 9.28.

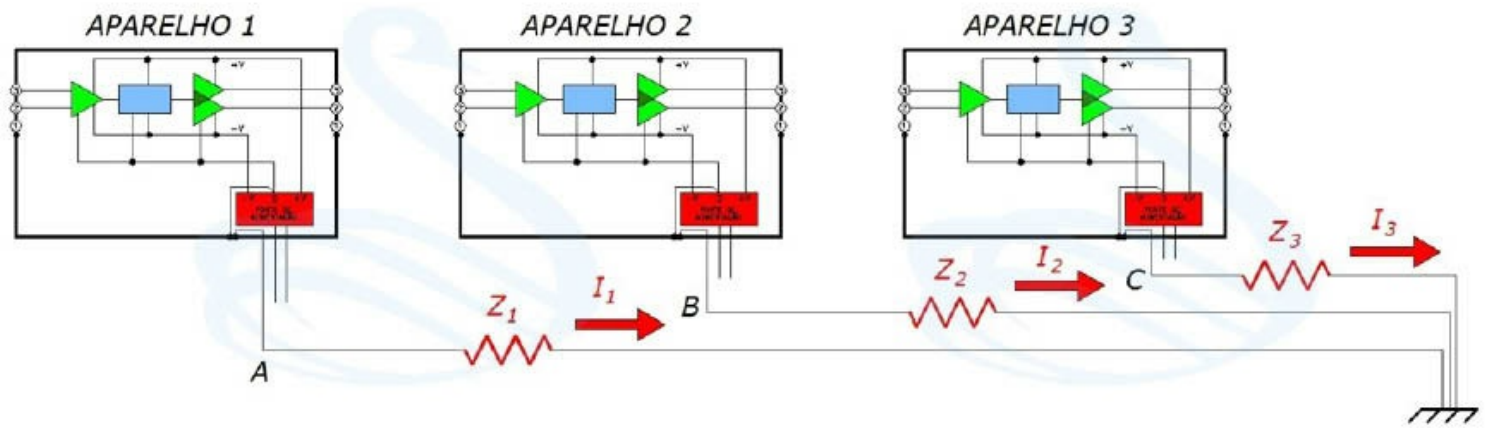


figura 9.28 circuito equivalente do aterramento terra de ponto único, configuração paralelo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os potenciais elétricos nos pontos A e C são respectivamente

$$V_A = Z_1 \times I_1$$

$$V_C = Z_3 \times I_3$$

Em contraste com o caso anterior, vemos agora que os potenciais elétricos de terra de cada aparelho devem-se apenas às impedâncias de terra dos condutores que servem a cada aparelho, individualmente. Tenhamos em mente o seguinte. Do ponto de vista de segurança, a frequência que mais importa a qualquer técnico é 60 Hz. Mas do ponto de vista de controle de ruído, as duas variantes do esquema terra de ponto único apresentam uma séria limitação em altas frequências.

De fato, com o aumento da frequência, aumentam também as indutâncias dos condutores terra. O que faz aumentar os potenciais elétricos antes discutidos, e conseqüentemente, os ruídos. Há um quadro particularmente muito inconveniente, que ocorre quando qualquer condutor terra desse esquema tem comprimento equivalente a qualquer múltiplo ímpar de 1/4 do comprimento de onda da frequência do ruído.

Quando isso ocorre, a impedância do condutor aumenta drasticamente, e o pior, o próprio condutor adquire funções de antena muito eficiente, passando ele próprio a radiar ruído.

Como resultado, qualquer das duas variantes só é recomendada para controlar ruídos, de forma segura, para frequências de até 1 MHz. Para frequências entre 1 e 10 MHz, o esquema deve ser implantado de forma que nenhum condutor de terra tenha comprimento maior do que 1/20 do comprimento de onda da frequência do ruído.

esquema terra multiponto

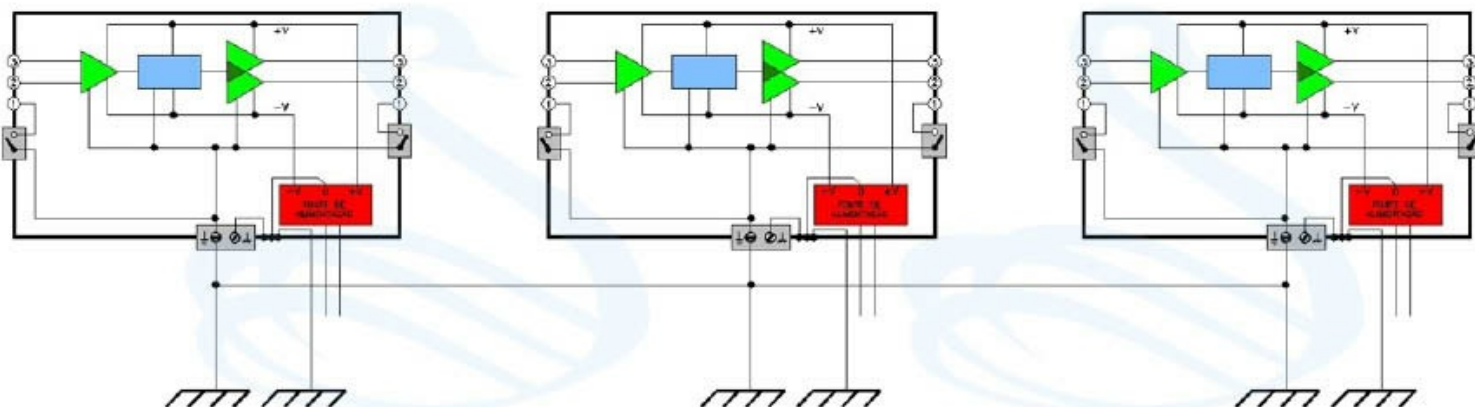


figura 9.29 esquema de aterramento multiponto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 9.29 ilustra o esquema multiponto, que deve ser implantado com os segmentos dos condutores terra tão curtos quanto possível.

Este arranjo é particularmente eficaz para altas frequências.

E a eficácia será tão maior quanto menor for o comprimento de cada condutor de terra.

Dessa forma, as impedâncias dos condutores são controladas.

Entretanto, seu uso para baixas frequências pode ser problemático, de vez que as correntes de terra de todos os aparelhos acabam fluindo para uma mesma impedância comum.

9.7.4.6 Aterramento Técnico Aterramento técnico é o nome que se dá ao conjunto de condutores elétricos e barramentos dedicados a atender exclusivamente a um sistema técnico, como um sistema de áudio, com finalidades de garantir segurança e controlar ruídos elétricos.

A utilização do sistema de aterramento técnico não elimina a necessidade dos aterramentos de sistema. De acordo com o dicionário padrão do IEEE (STD 100-1984), o aterramento de sistema é o conjunto das conexões que levam à terra quaisquer partes metálicas de um sistema de transmissão de energia, ou partes e estruturas metálicas ligadas a ele, que em condições normais de operação portam corrente elétrica.

O objetivo principal do aterramento técnico é obter uma referência estável para circuitos de áudio e blindagens, mesmo em condições rigorosas de IEM.

O aterramento técnico é indicado para casos de sistemas mais complexos, com grande quantidade de interligações, sob difíceis condições de IEM, e também, para casos críticos de audição em locais com níveis de ruído acústico muito reduzidos.

Há alguns tipos diferentes de aterramentos técnicos, entre os quais o principal, e de longe o mais utilizado, é discutido a seguir.

sistema terra isolado em estrela

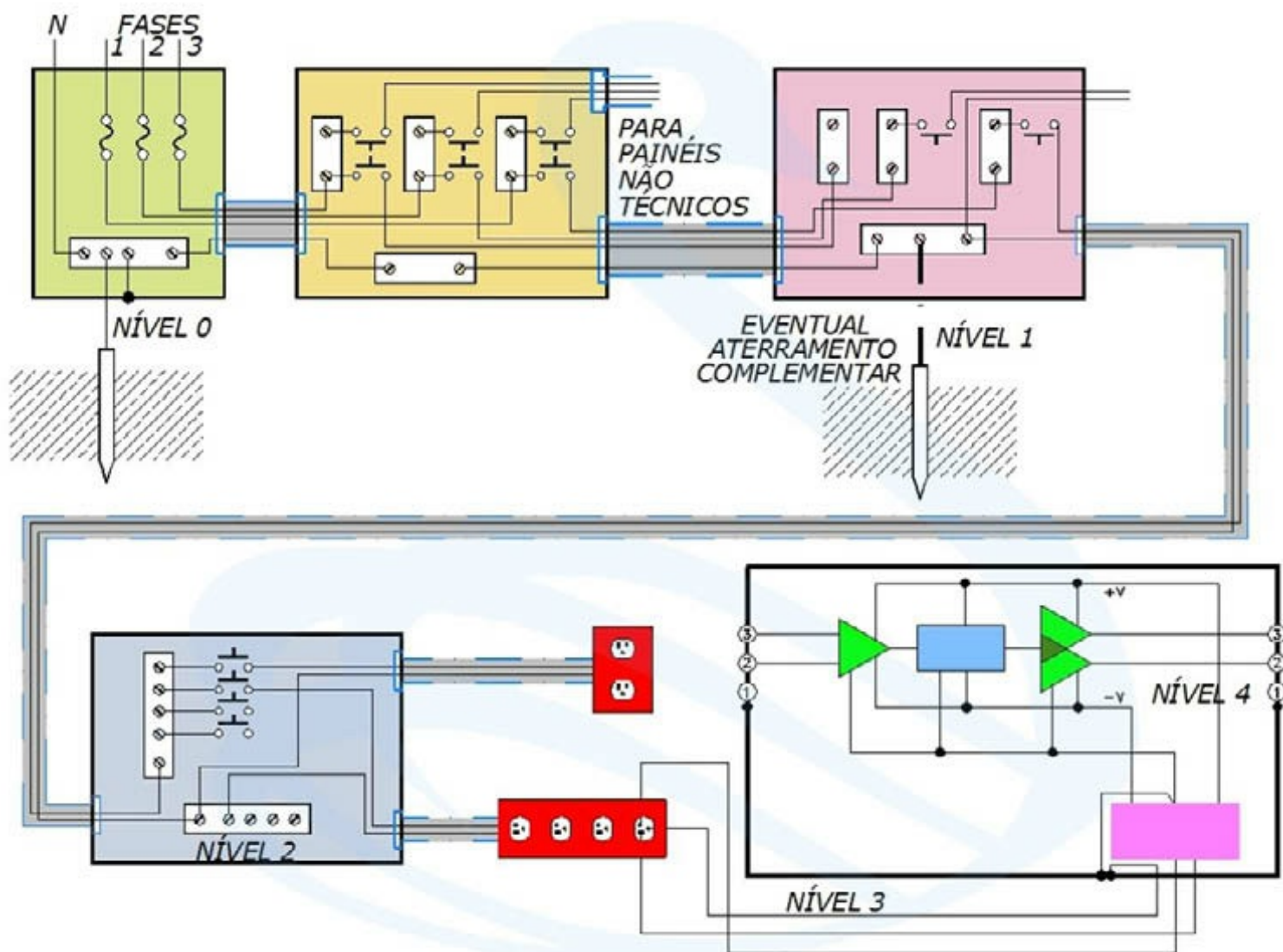


figura 9.30 aterramento técnico - sistema terra isolado em estrela acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Este esquema de aterramento técnico oferece as vantagens de não desprezar normas e códigos de segurança, e ainda, apresentar um mínimo de compromissos.

Adicionalmente, é de implantação simples, o que facilita manutenções futuras.

A figura 9.30 mostra o arranjo elementar de um esquema terra isolado em estrela.

Tal sistema técnico é totalmente isolado de quaisquer outros sistemas. O que se aplica a todos seus condutores e barramentos.

Como se percebe pela figura, trata-se de um sistema organizado em níveis hierárquicos. O nível zero é o eletrodo de terra da edificação, portanto, a única ligação para a terra de todo o sistema técnico de aterramento.

Quando necessário, é possível complementar o eletrodo de aterramento existente com um ou mais eletrodos adicionais.

Neste caso específico, o termo complementar significa não comprometer o eletrodo principal de aterramento. Muito menos não utilizá-lo.

O nível 1 do sistema técnico é o barramento de referência de terra, usualmente contido num painel denominado painel principal do sistema técnico de aterramento.

Este é um barramento ligado ao eletrodo principal de aterramento, e como sua função é

servir como elemento central de distribuição para todos os condutores técnicos de aterramento, há só um deles em cada instalação.

Os condutores técnicos de aterramento deixam o barramento do nível 1 e vão ter aos barramentos locais, instalados em painéis locais do sistema técnico de aterramento. Esses painéis constituem o nível 2 do sistema.

Dependendo do tamanho da instalação, pode haver apenas um painel de nível 2, alguns ou muitos deles.

O nível seguinte, ou nível 3, é denominado referência técnica de terra para equipamento, e isto pode ser uma ou mais tomadas, às quais serão ligados os aparelhos do sistema.

O terra de cada uma dessas tomadas é atendido por um condutor específico. Portanto, não pode haver um único condutor servindo a duas ou mais tomadas.

Quaisquer blindagens ou partes metálicas ligadas às carcaças dos aparelhos que são servidos pelo nível 3 vão constituir o nível 4 do sistema técnico de aterramento, que é o último nível.

As vantagens desse sistema técnico de aterramento podem ser assim resumidas:

- como os aparelhos de uma determinada área (local) possuem referência dada um por condutor individual, é eliminada a inconveniência da impedância comum para esses aparelhos. Desse modo, mesmo que um desses aparelhos possa criar corrente de terra relativamente elevada, o erro na referência terá pouca influência sobre qualquer dos demais aparelhos da mesma área
- a referência de terra para os equipamentos de uma mesma área tem um só nível, o que significa que as diferenças de impedância para a terra de cada um relação aos demais é bastante reduzida
- cada aparelho tem seu próprio caminho para a terra, o que elimina a possibilidade de elos de terra dentro do sistema técnico de aterramento

implementação

Agora vamos discutir a implementação do sistema de aterramento. Fazendo isso em duas etapas.

Na primeira, estaremos nos referindo aos meios utilizados para trazer o terminal terra desde seu ponto de origem, o aterramento do sistema de energia na entrada da edificação, até o local de instalação.

O terra neste ponto será chamado de terminal terra local.

Em instalações com mais do que uma sala de equipamentos, poderão haver, correspondentemente, mais do que apenas um só terminal terra local.

Na segunda etapa estaremos estudando como aterrar os aparelhos de um sistema ao terminal terra local, e assim, concluindo o ciclo.

Vamos começar analisando o provimento do terminal terra local.

A implementação física do sistema terra isolado em estrela não oferece muitas dificuldades.

Sabemos que os sistemas técnicos de energia possuem configuração natural em forma de estrela.

Como os condutores do sistema técnico de aterramento devem ser passados pelos mesmos eletrodutos que os condutores do sistema técnico de energia, a implementação de ambos deve seguir as linhas gerais da figura 9.31.

Vale observar que, sendo os condutores do sistema técnico de aterramento isolados de quaisquer outros, é preciso que também sejam previstos condutores de aterramento de equipamento, isoladamente.

A finalidade disto é promover o aterramento de eletrodutos, eletrocalhas, caixas terminais de tomadas, *etc.*

Dessa forma, as tomadas técnicas de energia têm seus terminais terra ligados aos condutores do sistema técnico de aterramento, e as caixas nas quais elas próprias são instaladas são aterradas pelos condutores não técnicos do aterramento de equipamento.

Isso implica em que todas essas tomadas devem ter os terminais terra isolados das estruturas metálicas das caixas.

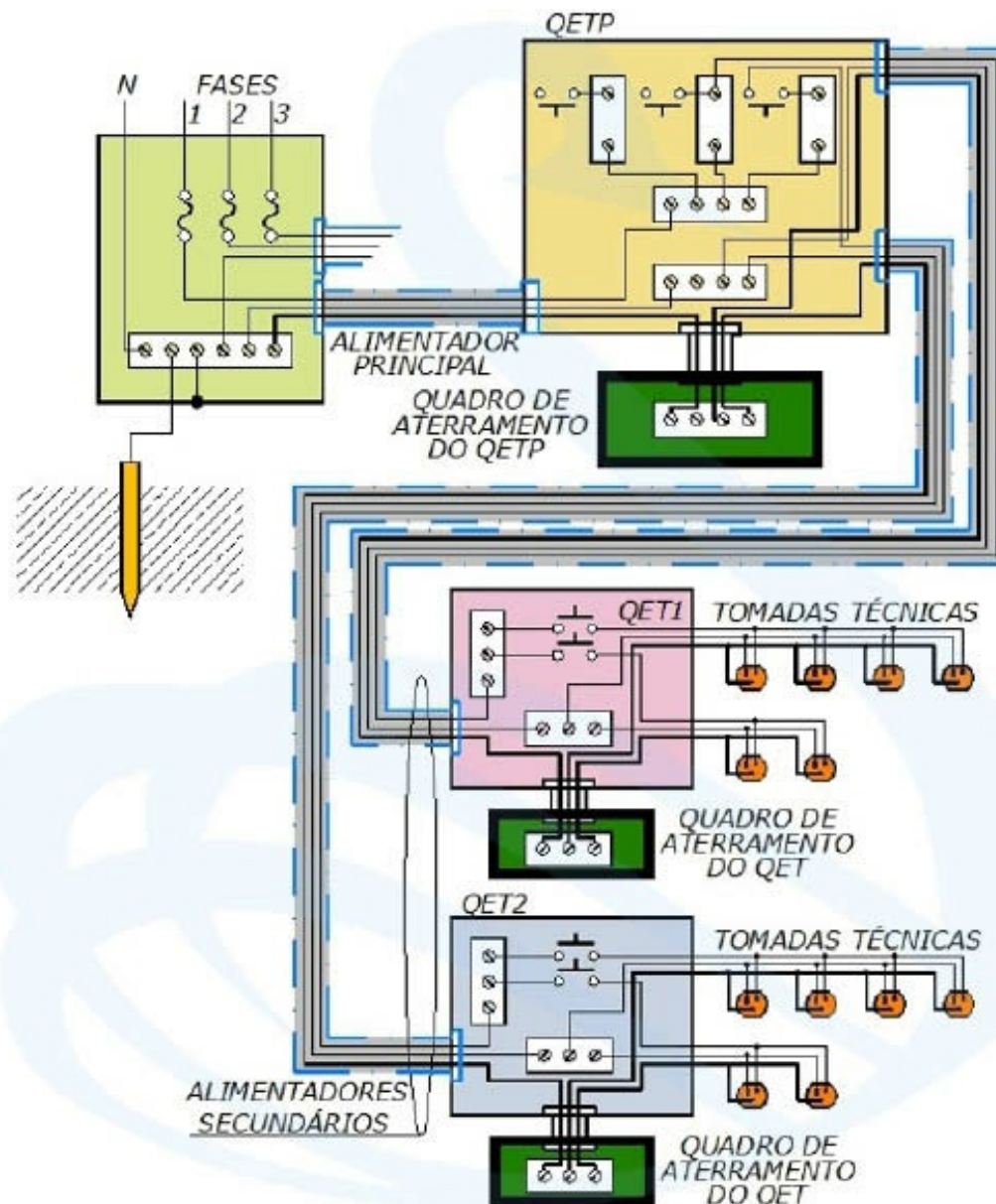


figura 9.31 ideia básica de implementação física do sistema terra isolado em estrela acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 9.32 mostra detalhes a respeito.

Com relação às tomadas em si, podemos pensar em utilizar alguns modelos importados, já encontrados no mercado brasileiro, como os exemplos citados no item 9.7.5.2 adiante.

Para sistemas de áudio de pequeno porte, o sistema técnico de aterramento mais recomendado assume uma configuração como aquela ilustrada na figura 9.33.

Nota-se que esta é apenas uma simplificação do sistema terra isolado em estrela.

Mas não seria correto associar a denominação sistema terra isolado em estrela a tal sistema, uma vez que sua configuração nitidamente carece do formato típico de um verdadeiro sistema em estrela.

Mas neste momento, vamos nos preocupar com tudo, menos com semântica.

O que também não significa que podemos ou devemos trocar os significados precisos dos termos com os quais estamos lidando.

As bitolas dos condutores técnicos de aterramento dependem de alguns fatores. Entre eles a sensibilidade do sistema para a IEM e a previsão dos níveis de ruídos.

Por outro lado, é preciso considerar que alguns sistemas de áudio não necessitam de

elevadas gamas dinâmicas.

Como os de avisos e chamadas e os de distribuição de música ambiente, porquanto outros se caracterizam pela necessidade das gamas dinâmicas muito elevadas.

A exemplo dos sistemas mais complexos instalados em emissoras de rádio e de TV, e os aparatos próprios de plantas de pós produção.

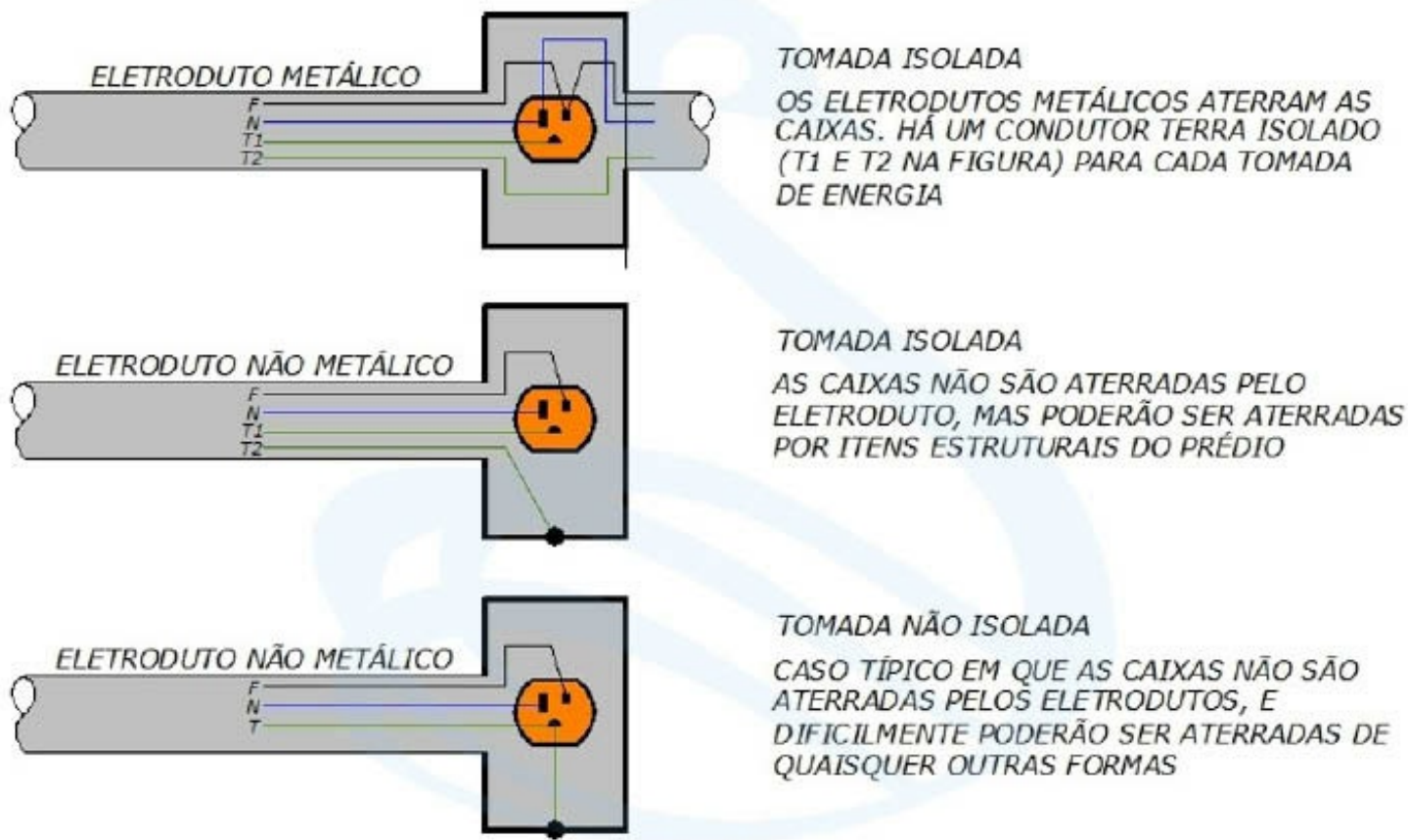


figura 9.32 tomadas isoladas e não isoladas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

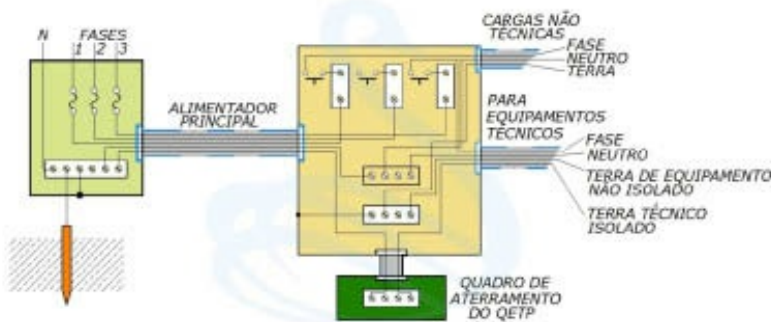


figura 9.33 configuração de sistema técnico de aterramento para sistemas de áudio de pequeno porte acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A tabela 9.6 resume as sugestões para as bitolas desses condutores.

tabela 9.6 (bitolas dos condutores padrão AWG)

ORIGEM DO CONDUTOR	BAIXA DINÂMICA	MÉDIA DINÂMICA		DINÂMICA ELEVADA	
	< 60,0 dB	60,0 a 80,0 dB		> 80,0 dB	
	Média IEM	Baixa IEM	Alta IEM	Baixa IEM	Alta IEM
A	6	2	00	00	0000
B	10	8	6	4	0
C	14	12	12	12	10
D	14	12	10	10	6
E	0,5	0,1	0,001	0,001	0,0001

A. Do eletrodo de terra para o barramento principal B. Do barramento principal para os barramentos locais C. Dos barramentos locais para qualquer tomada técnica D. Dos barramentos locais para qualquer grupo de tomadas técnicas E. Resistência máxima (Ω) de qualquer condutor Agora vamos pensar no terminal terra local para os aparelhos.

Na maioria dos sistemas profissionais de áudio, os aparelhos são acondicionados em bastidores metálicos.

Assim, vamos concentrar nossa discussão supondo essa hipótese.

O esquema terra flutuante segue as mesmas características de implementação que o esquema terra multiponto.

Como discutido a seguir, com a diferença de que todos os terras de circuito dos aparelhos devem estar interligados entre si, e não aterrados.

Daí, o termo flutuante.

Entretanto, isso só pode ser conseguido se todos os aparelhos do sistema possuírem lift de terra, e os jumpers forem retirados.

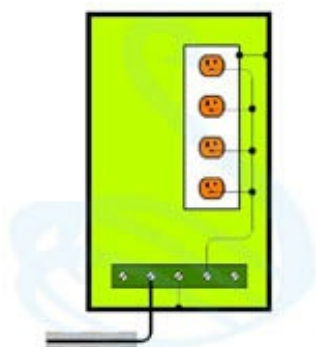


figura 9.34 bastidor com esquema de aterramento de ponto único, configuração série acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 9.34 e 9.35 representam bastidores preparados para a implementação do esquema terra de ponto único.

Na figura 9.34, a implantação corresponde à configuração série, e na figura 9.35 a configuração é a paralela.

A figura 9.34 mostra que os pinos terra das tomadas de energia são todos ligados a uma barra de aterramento do bastidor, através de um mesmo condutor.

Isso é o que se faz na maioria dos sistemas.

Em casos mais elaborados, cada pino terra de cada tomada de energia é individualmente conduzido por um condutor exclusivo até o terminal terra local, como mostra a figura 9.35.

Vale observar que as figuras indicam os aterramentos dos bastidores e das calhas de tomadas sendo feitos com o mesmo terminal terra local.

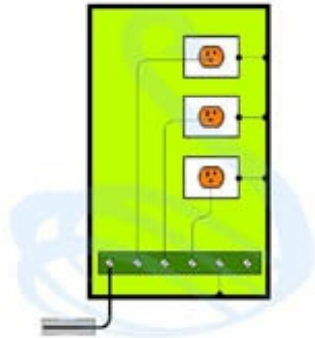


figura 9.35 bastidor com esquema de aterramento de ponto único, configuração paralelo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na prática, a implementação pode ser exatamente assim, ou todos esses aterramentos podem ser feitos a partir do aterramento não técnico disponível no sistema de energia, como vimos anteriormente.

Quando os sistemas de áudio utilizam dois ou mais bastidores, esses mesmos arranjos continuam sendo observados, como ilustra a figura 9.36.

O esquema terra multiponto é empregado quando os sistemas possuem aparelhos distribuídos em vários locais remotos diferentes, cuja instalação, por isso mesmo, é feita com alguns terminais terra locais.

A figura 9.36 mostra bastidores com diferentes arranjos de aterramento. O que não é correto, mas neste caso a finalidade é apenas ilustrativa.

Com efeito, numa instalação com dois ou mais bastidores, todos eles podem ser arranjados ou como na figura 9.34, ou como na figura 9.35. O que se escolhe à luz dos resultados desejados.

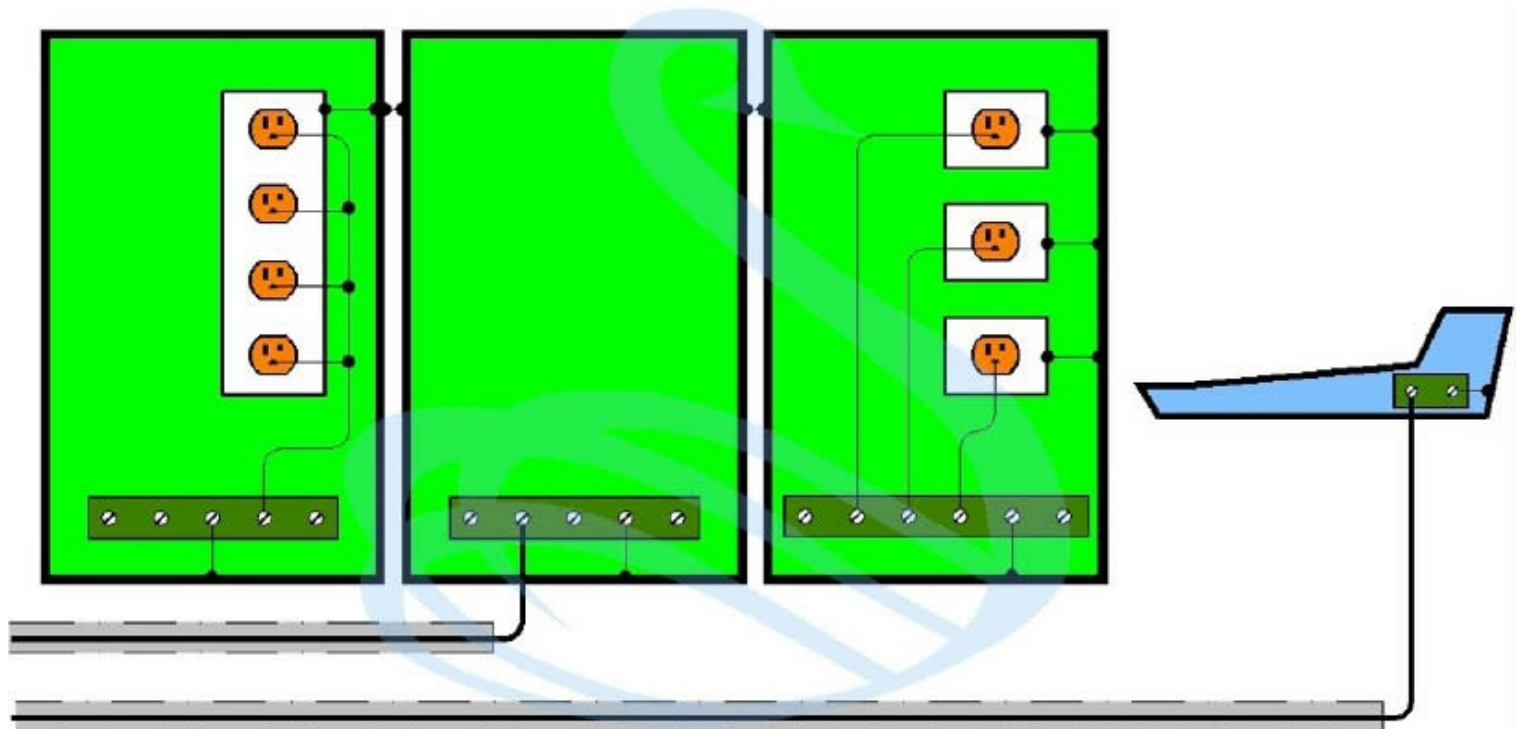


figura 9.36 arranjo de aterramento para sistema multibastidores acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vimos que a variante paralela é superior, mas em compensação, seu preço é mais elevado em razão da utilização de quantidade muito maior de condutores de aterramento.

9.7.4.7 Limitações dos Sistemas de Aterramento As leis da física sempre se incumbem de limitar o desempenho do melhor sistema de aterramento que se possa ser concebido. Do mesmo modo, independentemente da escolha dos materiais utilizados no sistema de aterramento, e das técnicas de instalação que são empregadas, todos os condutores continuarão tendo uma impedância finita, geralmente caracterizada por seus componentes resistivo e indutivo.

Henry Ott nos lembra que um pedaço de fio bitola 22 AWG, a 11 kHz e com afastamento de 25 mm de um plano de terra, exibe mais reatância indutiva do que resistência ôhmica.

É por isso que, mesmo na frequência de uma rede CA, dois pontos de aterramento fisicamente separados estarão com diferentes potenciais elétricos.

Há um outro aspecto que merece consideração neste exato momento. Os sistemas de aterramento podem ser feitos muito eficientes para o controle de baixas frequências.

De fato, as técnicas de aterramento atualmente em uso foram desenvolvidas há mais de um século, e foram concebidas preliminarmente para combater os problemas observados na frequência das redes CA, isto é, 60 ou 50 Hz, dependendo do país.

E nessa época, também não se dava muita importância ao efeito antena dos condutores de aterramento, que hoje sabemos, podem radiar energia eletromagnética de altas frequências. E naquela ocasião, quando se referia a altas frequências associadas ao áudio, estava se falando de, no máximo, 20 kHz! Imaginem só.

Pode-se concluir que as expectativas de benefício de qualquer sistema de aterramento não podem e não devem ser ilimitadas, independentemente de esquemas e configurações.

Por outro lado, se apesar de grandes esforços havidos com o sistema de aterramento, um sistema de áudio ainda apresenta sérios problemas de ruído, deve parecer claro que as origens desses problemas são outras.

9.7.4.8 Ligações Para a Terra Qualquer sistema de aterramento, técnico ou não, só pode ser assim considerado após estar ligado ao solo terrestre.

Geralmente essa ligação é feita apenas uma vez, na entrada da edificação. Independente de sua forma física, os elementos de aterramento recebem o nome de eletrodo de terra, e às vezes, sistema de eletrodos de terra.

Eles podem ser uma ou mais hastes de aterramento, as partes metálicas estruturais das fundações das edificações, um sistema interligado de peças metálicas enterradas, ou uma

combinação de elementos eletricamente condutores enterrados.

Uma coisa é certa.

Para um sistema de áudio, a qualidade de qualquer sistema de aterramento depende essencialmente da eficiência do eletrodo de terra.

Os requisitos mais importantes que qualquer eletrodo de terra de qualidade pode apresentar são a baixa resistência para a terra e a estabilidade a médio e longo prazos.

configurações dos eletrodos de terra Há três configurações de eletrodos de terra mais utilizadas, todas discutidas a seguir.

Na configuração Eletrodo de Terra Padrão, o eletrodo de terra que vai servir ao sistema de áudio é o próprio eletrodo de terra padrão, que é o único eletrodo da edificação. Logo, esta é a configuração mais simples e barata possível, e aceitável para sistemas de pequeno e médio porte, especialmente em áreas não muito industrializadas.

Na configuração Eletrodo de Terra Padrão Adicionado, como o próprio nome diz, o eletrodo de terra padrão sofre uma adição, geralmente na forma de uma ou mais novas hastes de aterramento, instaladas nas proximidades do eletrodo existente, e a ele conectadas.

Assim, o eletrodo existente e o novo passam a constituir um sistema único de eletrodos.

O objetivo dessa manobra é reduzir a resistência do eletrodo existente para a terra.

Os sistemas técnicos de energia e de aterramento devem ser alimentados sempre a partir de um painel central. Independentemente disso, muitas vezes é possível, e até desejável, que se instale um eletrodo técnico de terra dedicado, localizado longe do eletrodo de terra padrão, mas a ele interligado. Como mostra a figura 9.37.

É o que se chama de Eletrodo de Terra Padrão Remotamente Complementado.

A principal vantagem desta técnica é reduzir significativamente variações de voltagem devidas a ruídos elétricos presentes no eletrodo de terra padrão.

Jamais pense em utilizar o eletrodo de terra remoto não interligado ao eletrodo de terra padrão. Isso é extremamente perigoso, e apresenta riscos de vida.

Imagine a hipótese absurda de uma dessas instalações.

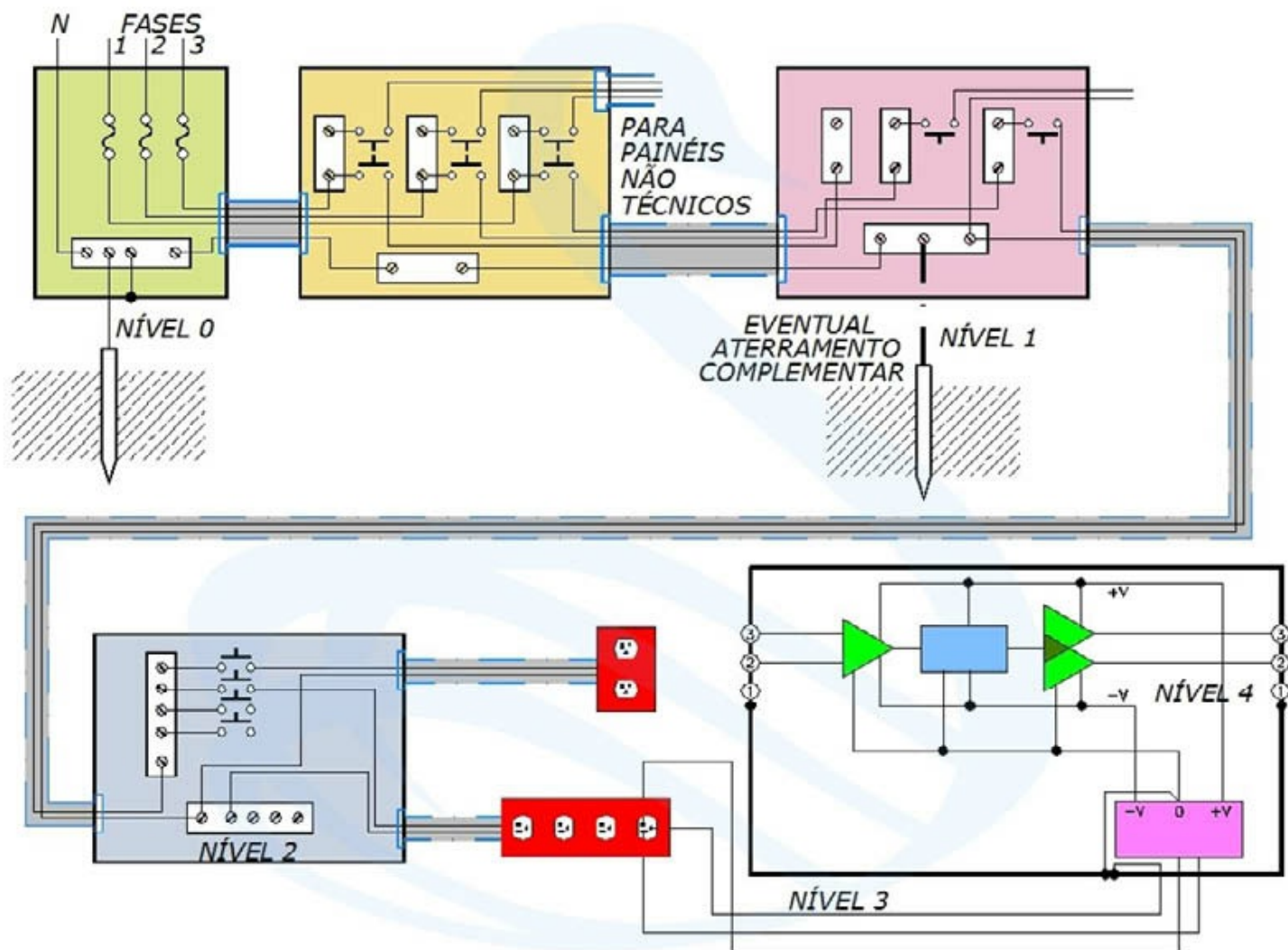


figura 9.37 eletrodo de terra padrão remotamente complementado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O aterramento do sistema de áudio ligado a um eletrodo de terra remoto não ligado ao terra padrão. E próximo ao bastidor dos equipamentos, um bebedouro metálico convencional de água gelada, aterrado ao eletrodo de terra padrão.

Na eventualidade de um raio atingir um dos condutores de aterramento, e não o outro, o que é uma possibilidade muito real, diferenças instantâneas de voltagem da ordem de 10.000 volts podem ser desenvolvidas.

E qualquer indivíduo que naquele momento estivesse tocando as estruturas metálicas do bastidor e do bebedouro poderia ser eletrocutado.

9.7.4.9 O Valor da Impedância Para a Terra Do ponto de vista de sistema de energia, o que se procura com o eletrodo de terra é um valor muito baixo de impedância para a terra, de modo que elevadas correntes elétricas possam fluir rapidamente para terra, e assim, disparar os dispositivos de proteção, como os disjuntores e os fusíveis.

O Padrão IEEE 142-1982 menciona que valores de resistência para a terra entre 2 e 5 Ω são razoáveis, mas não necessariamente aceitáveis para todos os casos.

Portanto, esses limites servem apenas para nos dar um balizamento de valores genéricos.

Aparentemente, não há valores ideais claramente definidos para cada tipo de sistema de energia. Mas os engenheiros de sistemas técnicos costumam trabalhar com figuras de no

máximo 5 Ω . Quando o engenheiro de áudio deseja determinados valores, como por exemplo 1,0 Ω , é preciso trabalhar juntamente com o engenheiro do sistema de energia na tentativa de atingir seu objetivo. Esta costuma ser uma tarefa dura, já que diferentes interesses poderão estar em jogo.

Mas estaremos melhor preparados para enfrentá-la se lembrarmos que o menor valor da resistência para a terra que se pode obter de qualquer eletrodo de terra é limitado pelas características do eletrodo e pelas condições geológicas e circunstanciais do solo.

Com relação ao eletrodo, os fatores determinantes são o tipo de eletrodo, a quantidade de hastes ou de elementos condutores, o material do qual o eletrodo é feito, e o espaçamento entre elementos, para instalações com mais do que só um elemento.

Os fatores referentes ao solo que mais importam são os materiais predominantes em sua composição química, seu grau de umidade e sua temperatura.

Uma das unidades empregadas para expressar a resistividade do solo (ρ) é ohms.metro, e a tabela 9.7 mostra alguns valores para diferentes tipos de solos.

tabela 9.7

Lama	10-100
Terra (20% de umidade)	500
Terra (50% de umidade)	150
Argila ressecada	3.000
Argila (20% de umidade)	350
Argila (50% de umidade)	70
Areia ressecada	5.000
Areia úmida	1.200
Solo calcário	2.500

Muitos consultores internacionais de áudio especificam ainda que a resistência CC de quaisquer barramentos de terra não deve ser superior a 0,1 Ω .

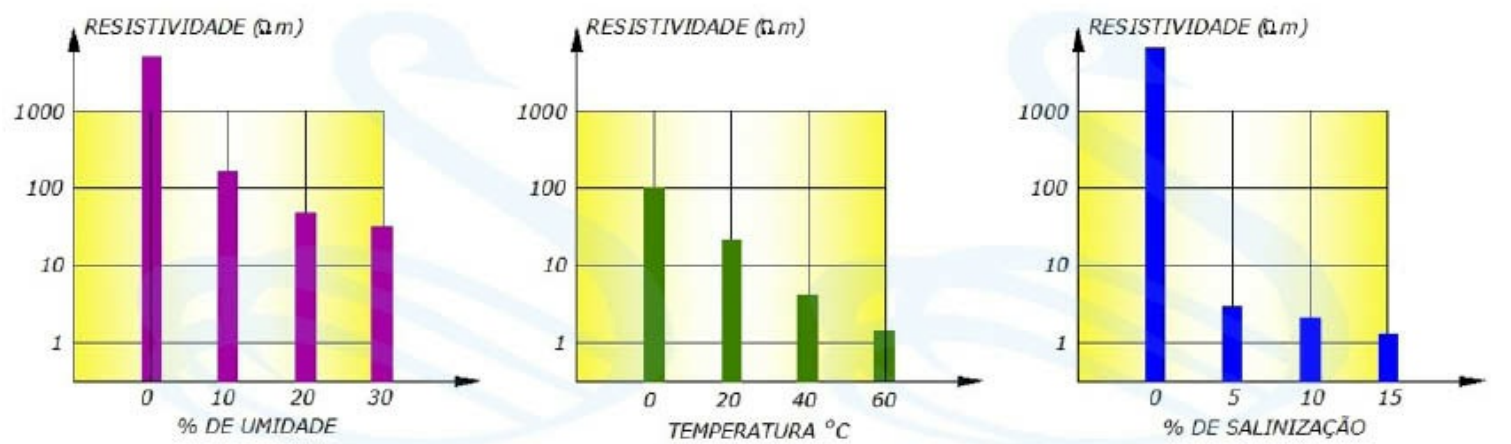


figura 9.38 alterações de resistividade do solo em função de variações percentuais de umidade e de salinização, e de mudanças de temperatura acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 9.38 resume graficamente as reduções médias de resistividade do solo que podem ser obtidas em função de

variações percentuais de umidade, de temperatura, e de adição de sal.

Uma vez que a resistividade diminui com o aumento da umidade, é desejável que o eletrodo de terra fique tão profundo quanto possível, de preferência abaixo do lençol freático.

Com relação a adição de sal, a redução da resistividade ocorre porque os sais são substâncias higroscópicas, isto é, com capacidade de reter água.

Além disso, praticamente todos os sais possuem resistividades elétricas naturalmente baixas.

9.7.4.10 Eletrodos Tipo Haste

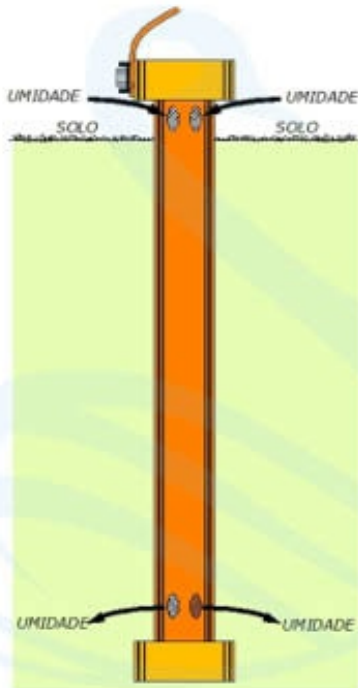


figura 9.39 eletrodo tipo haste XIT

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há basicamente dois tipos de hastes de aterramento. O tipo mais simples é apenas uma haste metálica maciça, disponível em aço, ferro e cobre, sendo este último o mais comum.

Existem também hastes mistas, equipadas com alma de aço revestida com cobre.

A barra Copperweld tem o cobre fundido sobre a alma de aço. Quando o cobre é revestido por processo de extrusão, a haste é encamisada, e nas hastes Cadweld, o cobre é eletroliticamente depositado sobre a alma de aço.

Há hastes de vários diâmetros e comprimentos.

Para sistemas de áudio, o comprimento mais utilizado é 3,0 m, e o diâmetro é geralmente selecionado em função do tipo de solo.

O segundo tipo de eletrodo é um tubo de cobre oco, com paredes geralmente muito espessas e perfuradas, denominado haste XIT.

Sua parte central é totalmente preenchida com produtos químicos, cuja composição é rica em sais minerais.

Uma vez instaladas estas hastes, o produto penetra no solo, garantindo excelente

resistividade de contato haste-solo.

A figura 9.39 ilustra a haste XIT, porquanto o gráfico da figura 9.40 informa a acomodação da impedância do eletrodo. Isto é, como ela se comporta nos meses subsequentes após a instalação.

O gráfico apresenta curvas diferentes para alguns tipos de solos.

Esses eletrodos são comprovadamente muito estáveis ao longo do tempo.

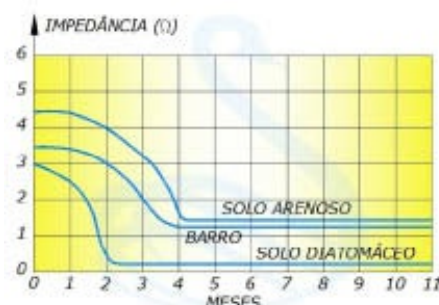


figura 9.40 acomodação da impedância da haste XIT após instalação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 9.7.4.11 Medição da Resistência Para a Terra Medir a resistência de um eletrodo para a terra com acuidade é algo naturalmente bastante difícil.

Portanto, em geral, valores apenas aproximados já são satisfatórios.

Quando as correntes elétricas de terra presentes são muito intensas, o que não é raro, especialmente em regiões industriais ou muito densas, a medição pode ser literalmente impossível.

Nem sempre os engenheiros de áudio entram nos detalhes dessas medições.

Razão pela qual muitos de nós não está familiarizado com elas.

Assim, sempre que não nos sentirmos suficientemente seguros, a provável melhor opção é solicitar a ajuda de um profissional especializado.

Os instrumentos apropriados para a execução dessas medições são os “meggers”, todos de preço bastante elevado.

A menos que seu uso seja mais ou menos constante, a ponto de justificar o pesado investimento, a provável melhor alternativa é alugá-los.

O princípio básico de medição desses instrumentos é ilustrado na figura 9.41.

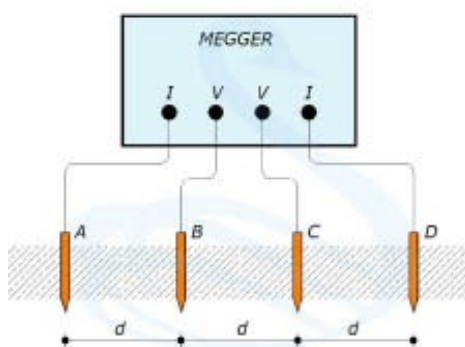


figura 9.41 esquema básico de medição feito com os “meggers” acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As distâncias entre hastes adjacentes são iguais.

Por seus terminais de corrente elétrica (I), o instrumento gera uma corrente que circula

entre as hastes A e D, produzindo potenciais elétricos diferentes nas hastes B e C.

O instrumento, ligado a estas hastes através de seus terminais de voltagem (V), mede esses dois potenciais, calcula sua diferença e, levando em conta a intensidade da corrente, informa diretamente a resistência.

E às vezes, também, a resistividade do solo.

Entretanto, há um método de medição extremamente simples, que exige apenas um instrumento capaz de medir baixas resistências com precisão, algo no entorno de $0,1 \Omega$.

A figura 9.42 nos ajuda a entender o método.

O eletrodo existente, do qual queremos medir a resistência para a terra é o eletrodo “A”.

Os eletrodos “B” e “C” são temporariamente instalados nas adjacências do eletrodo “A”, apenas para que façamos as medições. As localizações dos eletrodos de teste não são críticas, mas as distâncias devem ser grandes em comparação aos comprimentos dos eletrodos.

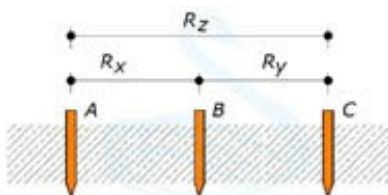


figura 9.42 ilustração de método de medição de resistência para a terra empregando apenas um instrumento capaz de medir baixas resistências com precisão acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Mede-se R_X , R_Y e R_Z , e calcula-se R_A , que é o valor procurado, através da expressão

$$R_A = \frac{R_X + R_Z - R_Y}{2} \quad (9.10)$$

9.7.5 Técnicas de Energia A aplicação das técnicas de energia é um remédio terrivelmente eficaz contra os problemas causados por IEM.

O projetista de um sistema de energia a ser instalado numa edificação qualquer deve levar em conta todas as necessidades declaradas pelos usuários, e mais algumas de praxe, se não mencionadas.

Entre essas necessidades básicas estão a iluminação, as tomadas elétricas de serviço e de conveniência, a energização de motores de elevadores, de bombas de recalque e outros, de equipamentos de condicionamento de ar, e até de sistemas técnicos, como centrais telefônicas tipo PABX, sistemas de áudio, sistemas de supervisão predial, redes de computadores, e assim por diante.

Se todas essas necessidades forem atendidas por um único sistema, este **não** será um sistema técnico de energia.

Para merecer o rótulo **técnico**, como qualificativo, o sistema de energia deve ser projetado

para atender única e exclusivamente a um determinado sistema técnico, a exemplo de um sistema de áudio.

Em outras palavras, deve ser um sistema **dedicado e exclusivo**.

Os requisitos essenciais desejáveis em qualquer sistema técnico de energia podem ser assim alinhados:

- apresentar elevada confiabilidade
- não provocar intermitências operacionais
- não provocar danos nos aparelhos elétricos e/ou eletrônicos atendidos
- não conduzir ruídos para os aparelhos de áudio, quando for o caso
- não induzir ruídos nos cabos de interconexão do sistema técnico atendido
- oferecer sinal CA limpo, com forma de onda isenta de distorções

É claro que pode ser muito difícil obter simultaneamente esse elenco de predicados. Muitas vezes pode ser até mesmo impossível. Mas encarar todos os itens relacionados como um único conjunto de predicados, eleitos como um objetivo ideal a atingir, é sempre uma boa ideia.

Do ponto de vista técnico, quanto menos nos afastarmos desse objetivo melhor será o sistema técnico de energia. E provavelmente, também, mais elevado será seu preço final.

O projetista de áudio criterioso sabe que a qualidade de seu projeto depende da maximização do investimento de seu cliente. Em outras palavras, é preciso recomendar que o investimento seja feito apenas em itens realmente necessários, e não em outros. Além disso, cada item adquirido deve representar a melhor relação custo benefício, ao que vale dizer, a mais condizente com as efetivas necessidades do cliente. Com aparelhos adequados às características do caso considerado.

Isso é especialmente aplicável aos sistemas técnicos de energia, cuja real necessidade depende fundamentalmente do tipo de instalação considerada. Os parâmetros em questão são a relação sinal/ruído final desejada, e como são toleradas as consequências de eventuais paralisações do sistema técnico, provocadas por falhas de alimentação.

Convém deixar claro que os sistemas técnicos de energia não superam distúrbios do gênero interrupção de fornecimento, o que só pode ser superado, e devidamente resolvido, com fontes de alimentação nobreak.

Uma vez que os sistemas não técnicos de energia servem indistintamente a sistemas técnicos e a várias outras necessidades, é preciso levar em conta que, com eles, corre-se o risco de que eventuais curtos-circuitos que possam ocorrer em outras partes da edificação paralise os sistemas técnicos. Por exemplo, por efeito de acionamento de dispositivos de proteção.

Tal eventualidade também pode ocorrer sem que haja falhas remotas. Uma das circunstâncias mais comuns de sua ocorrência é quando, por questões de manutenção, são

deliberadamente acionados disjuntores que atendem várias áreas numa mesma edificação. Basta que o sistema técnico, não lembrado naquele momento, seja alimentado por um dos circuitos assim desligados.

9.7.5.1 Fontes de Ruído e Acoplamento fontes de ruído

Não estamos interessados somente nas fontes de ruído que podem fustigar os sistemas de energia, mas também nas naturezas desses ruídos.

As fontes de ruído que mais se fazem presentes nos sistemas de energia são as cargas indutivas, os transmissores a quaisquer títulos, os SCRs e os motores.

Os efeitos nocivos dos transmissores nos sistemas de áudio são sobejamente conhecidos. A contaminação dos sistemas de áudio por SCRs e por motores pode ser facilmente observada em muitos teatros e auditórios.

Mas não se pode dizer o mesmo dos efeitos terríveis provocados por cargas indutivas sobre os sistemas de áudio, que se mostram muito menos evidentes do que as demais fontes mencionadas.

A figura 9.43 mostra o circuito equivalente simplificado de uma carga indutiva. A voltagem produzida pelo gerador pode ser CA, como sugere a figura, ou CC.

Realmente não importa, porque os resultados a seguir discutidos serão idênticos nos dois casos.

A resistência R da figura representa a resistência ôhmica do fio condutor com o qual o indutor L é construído. O capacitor C representa a capacitância parasítica existente entre as espiras do indutor, razão pela qual está ligada em paralelo com o indutor e sua resistência.

No momento exato em que o interruptor S é aberto, ocorre um fenômeno denominado arcos Showering. Este nome foi dado ao fenômeno em homenagem a Showers, um dos investigadores que o descreveu precisamente.

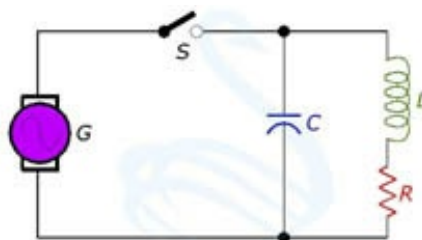


figura 9.43 detalhe de chaveamento de uma carga indutiva acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 9.44 reproduz o registro de uma experiência real, feita com um circuito de teste semelhante ao da figura 9.43.

O indutor deste circuito de teste tinha indutância de aproximadamente 25 mH, porquanto a capacitância parasítica era da ordem de 2 pF.

O interruptor utilizado foi uma chave interruptora mecânica convencional.

O circuito de teste foi ligado a uma tomada com voltagem de 127 VCA.

Para registrar o fenômeno foi empregado um osciloscópio digital monitorando o indutor.

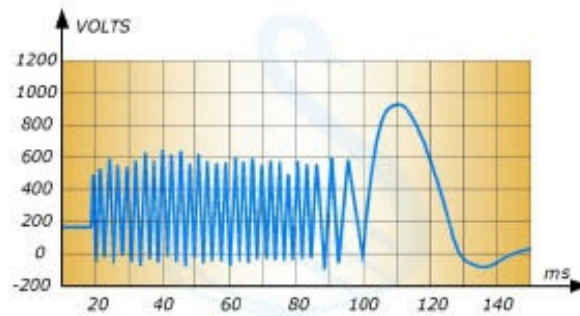


figura 9.44 resultado gráfico de experiência feita com um circuito como o da figura 9.43
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No eixo de tempo da figura, $t=0$ é o momento em que o interruptor é desligado.

Observa-se que até cerca de $8 \mu s$ não há qualquer registro digno de nota. Esses 8 microssegundos iniciais correspondem ao tempo de atuação do interruptor.

A partir daí, e até aproximadamente $90 \mu s$, os arcos Showering se mostram evidentes.

Atingidos os $90 \mu s$, há um pico de tensão que se aproxima de 1.000 volts. Esse pico final pode atingir magnitudes de tensão de alguns milhares de volts, dependendo apenas dos valores dos componentes utilizados no circuito de teste.

A ocorrência dos arcos pode ser explicada através da seguinte sequência de eventos:

- quando o interruptor é aberto, a corrente elétrica no indutor diminui rapidamente, reduzindo também o campo magnético
- a corrente elétrica que deixa o indutor passa a percorrer o capacitor C, de modo que a tensão sobre a carga aumenta
- esse aumento de tensão sobre a carga é limitado por uma centelha que se forma no ar entre os contatos do interruptor, o que se deve à quebra do dielétrico do ar
- com a centelha, forma-se um arco elétrico altamente condutivo entre os contatos do interruptor, o que restabelece a corrente para o indutor
- com o restabelecimento da corrente para o indutor, a tensão sobre ele começa a cair
- imediatamente antes da corrente atingir seu valor nulo, o arco deixa de existir, o que provoca a redução do campo magnético no indutor

Exceto pelo primeiro evento, todos os demais se repetem várias vezes. Aliás, como sugere a figura 9.44. Isso se prolonga até que a distância entre os contatos do interruptor torna-se suficientemente grande para não possibilitar mais a quebra do dielétrico. Nesse momento, o circuito LCR inicia uma oscilação suave e amortecida.

Ao que corresponde o pico da figura, que no caso desse teste ocorreu em $t = 100 \mu s$.

acoplamento

O acoplamento entre as fontes de ruído e os sistemas de energia é tão importante quanto a própria natureza da fonte.

Já sabemos que o acoplamento de ruído se processa através de quatro mecanismos diferentes: de campo elétrico ou capacitivo, de campo magnético ou indutivo, por efeito de

radiação eletromagnética, ou acoplamento direto, e por impedância comum, ou acoplamento condutivo. O acoplamento por impedância comum é de longe o mais comum em todos os casos de acoplamentos dos sistemas de energia.

A rigor, estes podem ocorrer independentemente de como a fonte de ruído e a vítima são energizadas. Se ambas forem alimentadas pelo mesmo sistema de energia, as probabilidades são todas de que os ruídos sejam conduzidos através dos condutores do sistema de energia, que se comportam como meios “ideais” de acoplamento.

Quando a fonte e a vítima não são energizadas pelo mesmo sistema de energia, os ruídos provavelmente estarão sendo conduzidos tanto pelos condutores do sistema de energia quanto pelo ar, em forma de captação de energia eletromagnética radiada pelos condutores do sistema de energia. Um exemplo que pode ajudar a entender esse aspecto é o seguinte. Um sistema de áudio alimentado por um sistema de energia muito ruidoso provavelmente se mostrará bastante contaminado.

Em muitos desses casos se observa que aparelhos instalados no mesmo local, mas não alimentados pelo mesmo sistema de energia, também se mostram contaminados.

A contaminação do sistema de áudio resulta quase que invariavelmente da condução dos ruídos pelos condutores do sistema de energia.

Mas os efeitos sobre os aparelhos não alimentados pelo mesmo sistema de energia deve-se a acoplamento de energia eletromagnética radiada pelo ar e captada por estes aparelhos alimentados independentemente.

Guitarras elétricas, e outros instrumentos musicais elétricos que utilizam captadores de alta impedância, são muito conhecidos por sua extrema habilidade de captar campos eletromagnéticos indesejáveis.

Embora os campos eletromagnéticos radiados por transmissores em geral possam ser suficientes para induzir ruídos nos sistemas de energia, e por isso mesmo mereçam a atenção necessária, os acoplamentos condutivos, sempre mais prováveis, exigem atenção redobrada.

9.7.5.2 Implementação É mais fácil projetar a implementação de um sistema técnico de energia para uma nova instalação do que para uma já existente.

De fato, em instalações existentes são frequentes as dificuldades, especialmente as resultantes de adaptações inevitáveis do que é desejável para o que é possível.

Para sistemas novos ou para existentes, o projeto de implementação do sistema técnico de energia é sempre uma peça única, desenvolvida exclusivamente para atender as necessidades peculiares de cada caso. Dada a multitude de possibilidades que resulta disso, seria impossível analisarmos todas elas. Assim, para estudar as linhas gerais que devem nortear a

implementação de qualquer sistema técnico de energia, vamos tomar como exemplo um caso típico de instalação de porte médio, e discutir seus detalhes.

Esse caso típico é representado na figura 9.45.

QETP e QET

A energia provida por um sistema técnico de energia é sempre originada num único ponto central, denominado QETP, ou Quadro de Energia Técnica Principal.

Veremos adiante que, de preferência, a energia entregue a esse quadro deve ser suprida por uma só fase, e se possível, que seja uma fase dedicada.

O QETP distribui energia para todas as salas técnicas da edificação, através de Quadros de Energia Técnica (QET), do que resulta uma configuração em forma de estrela de tamanho variável, dependendo das necessidades.

Em prédios muito pequenos, como os que servem exclusivamente para abrigar estúdios de dimensões médias, o QETP pode ser o próprio quadro de entrada principal do prédio.

Nesse caso, não devem haver QETs. Mas apenas e tão somente circuitos de distribuição.

Em teatros, estúdios de grande e de muito grande porte, e instalações congêneres, o QETP usualmente fica próximo à cabine técnica de controle, sendo que deste local são derivados os circuitos para todas as salas técnicas remotas. Embora não seja uma regra geral, é praxe que se tenha tantos QETs quantas são as salas técnicas.

Em instalações muito grandes, o QETP geralmente fica próximo dos equipamentos, ou numa saleta técnica especialmente projetada e construída para esta específica finalidade. Dependendo do porte de uma grande instalação, podem haver alguns níveis hierárquicos diferentes de QETs.

Mesmo fisicamente distanciados, os QETs podem ser divididos por função. É o que mostra a tabela 9.8, para um caso específico de emissora de rádio e de TV.

As correntes CA que fluem pelos condutores elétricos não técnicos podem radiar campos eletromagnéticos suficientemente intensos para induzir ruídos em circuitos adjacentes, que serão posteriormente audíveis.

Por essa razão, o QETP e os QETs devem ficar afastados do quadro de entrada principal da edificação, bem como de outros quadros secundários de distribuição não técnicos.

tabela 9.8

QETPS	RÁDIO	TV	TRANSMISSORES	COMPUTADORES
QETPs			SISTEMA DE TRANSMISSÃO	
QET	CONTROLE MESTRE	CONTROLE MESTRE	SALAS DE EQUIPAMENTOS	SALAS DE EQUIPAMENTOS
QET	SALAS DE CONTROLE	SALAS DE CONTROLE		
QET	SALAS DE EQUIPAMENTOS	SALAS DE EQUIPAMENTOS		
QET	UNIDADES MÓVEIS	VTR		
QET		TELECINE		

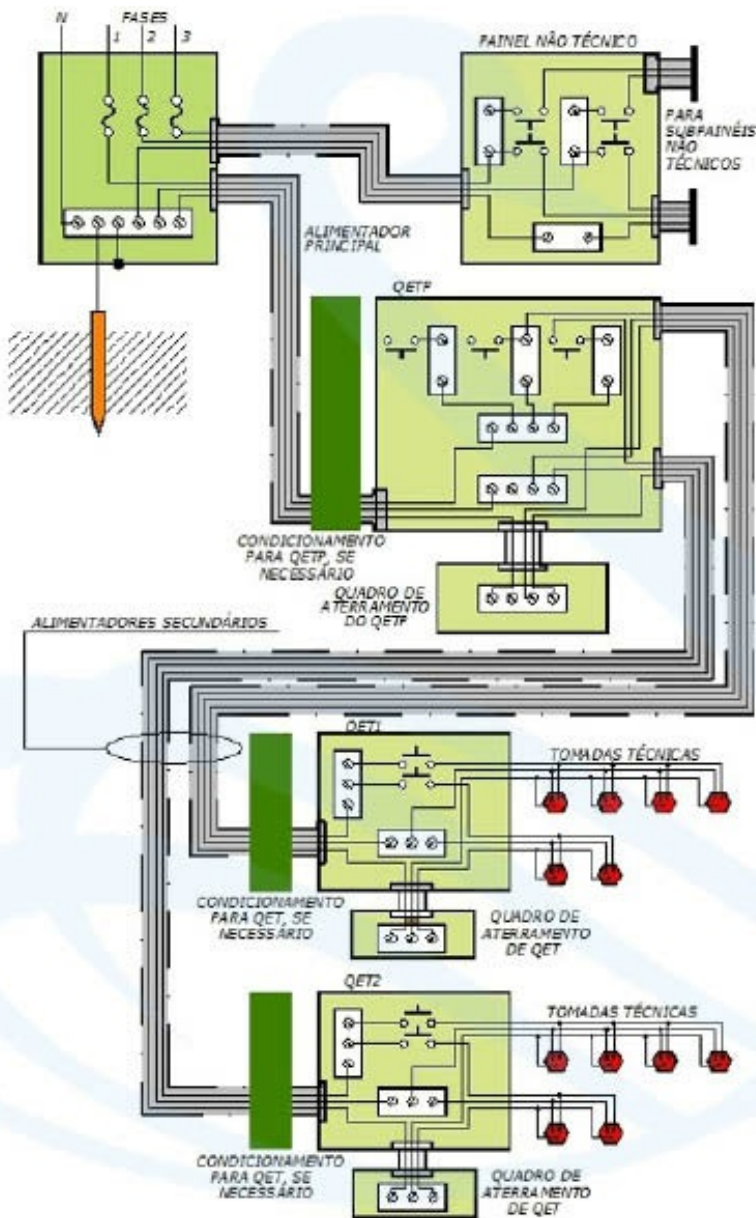


figura 9.45 caso típico de sistema técnico de energia de porte médio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne encaminhamento e alimentadores Ao pensar num sistema técnico de energia, a primeira coisa com que devemos nos preocupar é obter uma fonte de voltagem isenta de ruídos.

A seguir, vem um dos principais aspectos que o projetista deve considerar ao trabalhar com qualquer sistema técnico de energia. O encaminhamento. Ou seja, o trajeto físico exclusivo que permite estender a fonte de energia que atende ao prédio até o local técnico desejado.

O local técnico pode ser uma única sala, algumas delas, ou muitas.

Como mostra a figura 9.45, a energia proveniente do quadro de entrada de energia na edificação é trazida até o QETP através de circuitos denominados alimentadores primários. E a distribuição de energia do QETP para os QETs é feita por circuitos denominados alimentadores secundários. Dos QETs a energia é levada até as tomadas técnicas.

Para que as correntes CA presentes nos condutores elétricos não técnicos não induzam ruídos nos circuitos do sistema técnico, deve haver separação suficiente entre os eletrodutos não técnicos e os técnicos.

Quando por qualquer razão isso não for possível, há duas providências que ajudam bastante, e que por isso mesmo são muito empregadas.

A primeira delas é utilizar eletrodutos metálicos na distribuição não técnica. E ao invés de eletrodutos metálicos convencionais devem ser escolhidos aqueles com elevada capacidade de atenuar campos magnéticos.

A outra providência é torcer entre si os condutores fase e neutro da distribuição não técnica, o que reduz de maneira significativa as radiações eletromagnéticas produzidas por esses mesmos condutores.

É sempre prudente conservar uma distância mínima de pelo menos 3,0 metros entre quaisquer rotas de condutores de energia e rotas de cabos conduzindo sinais de áudio com nível de linha.

Como regra geral, as rotas de eletrodutos projetados para os cabos de áudio devem seguir caminhos totalmente independentes daqueles projetados para a energia.

Tanto quanto possível, paralelismos físicos devem ser evitados.

É conveniente lembrar que os condutores de energia destinados a alimentar dispositivos dotados de controles eletrônicos são geralmente portadores de componentes de altas frequência, e portanto, prováveis radiadores de campos eletromagnéticos.

ligação para a terra O aterramento de sistema é de especial importância quando se projeta um sistema técnico de energia. Vimos antes que o aterramento de sistema é o conjunto de conexões que levam à terra quaisquer condutores de um sistema de transmissão de energia, que em condições normais de uso portam corrente elétrica.

De fato, nessas circunstâncias, a confiabilidade geral de sistema técnico de energia e a ausência de ruídos são fatores preponderantes e de bastante preocupação do ponto de vista de engenharia de áudio.

Uma vez que a ligação do aterramento de sistema para terra é feita uma única vez, junto ao ponto de entrada de energia no prédio, sua eficácia depende não só dos eletrodos de terra utilizados, mas também, de que os condutores de aterramento efetivamente constituam um

caminho de muito baixa impedância para terra.

aterramento de equipamento Também já havíamos visto que o aterramento de equipamento, definido no dicionário de padrões do IEEE, é o conjunto de conexões que levam à terra quaisquer partes metálicas de um sistema de transmissão de energia, ou partes e estruturas metálicas ligadas a ele, que em condições normais de uso não portam corrente elétrica.

Assim, para prosseguirmos, precisamos lembrar que esse aterramento liga com a terra todos os eletrodutos metálicos, quadros, QETP, QETs, gabinetes metálicos e demais itens metálicos que em condições normais de operação não conduzem corrente elétrica.

A ligação para a terra é feita através do eletrodo metálico utilizado pelo aterramento de sistema. O aterramento de equipamento é totalmente separado do aterramento técnico.

Exceto pelo fato do aterramento de equipamento de um sistema técnico de energia não ligar com a terra qualquer equipamento técnico, ou bastidor, e mesmo pinos terra de tomadas técnicas, sua implementação se faz da mesma maneira que aterramentos de equipamento de qualquer sistema não técnico de energia.

Logo, o aterramento de equipamento aplicado aos sistemas técnicos de energia liga para a terra apenas QETP, QETs, eletrodutos e eletrocalhas metálicas, além de caixas metálicas de tomadas técnicas.

A forma mais usual de se obter isso é com condutores de cobre não isolados correndo juntamente com os condutores dos circuitos elétricos, sendo as conexões necessárias feitas com todas as peças metálicas mencionadas.

tomadas técnicas

Na sua aparência, as tomadas técnicas são semelhantes às tomadas convencionais de energia 110/220 VCA.

Entretanto, projetadas especificamente para que os equipamentos técnicos possam ser energizados, as tomadas técnicas devem ser alimentadas por um sistema técnico de energia. Ou não serão tomadas técnicas.

Fisicamente, cada uma dessas tomadas pode ser um conjunto de contatos montado numa caixa metálica embutida na parede, ou numa régua metálica montada dentro de um bastidor de equipamentos.

Não há requisitos especiais para as tomadas técnicas, exceto que elas devem ser de excelente qualidade e possuir três contatos: fase, neutro e terra.

Como há mais do que um só padrão para tomadas de três pinos no Brasil, é importante lembrar que os cordões de força dos equipamentos e dos bastidores devem terminar em tomadas macho do mesmo padrão que o utilizado no sistema técnico de energia.

Exatamente pela falta dessa padronização, e também, em razão da falta de normas estabelecendo a obrigatoriedade de uso dos três pinos, numa parcela expressiva de casos será preciso substituir os conectores CA macho dos equipamentos, ou empregar adaptadores.

Mas também é possível utilizar tomadas importadas. Quando esta for sua decisão, sugiro que sejam considerados os seguintes modelos:

- Hubbel IG 5262 (com terra isolado)
- General Electric GE 8000IG (com terra isolado)
- Daniel Woodhead 5262 DWIG (com terra isolado)

Quando se utiliza o aterramento técnico, então as tomadas técnicas devem ser do tipo terra isolado. Como analisamos anteriormente.

O emprego de tomadas técnicas de qualidade visa garantir a boa conexão elétrica entre seus contatos e os correspondentes pinos dos conectores CA macho utilizados.

As tomadas com terra isolado geralmente são de cor laranja ou salmão, ou possuem uma marcação triangular na face frontal, ou ambas as coisas. As tomadas acima sugeridas são consideradas padrão hospitalar nos Estados Unidos. Todas elas são produtos de qualidade estritamente superior.

9.7.6 Infraestrutura Assim como a maneira de suprir energia é um dos fatores de controle da IEM, a infraestrutura adequada se combina com ela para oferecer controle superior de IEM. Os tópicos mais importantes a respeito são discutidos no capítulo 14.

9.7.7 Técnicas de Isolação Vimos anteriormente que os elos de terra são fontes de ruído de alta potencialidade.

Com relação aos aparelhos, o perigo é consideravelmente maior para os portadores de problema de pino 1. A rigor, vimos que aparelhos sem problema de pino 1 estão razoavelmente bem imunizados desse mal.

Com relação ao aterramento, os maiores riscos estão associados aos sistemas de terra multiponto. Especialmente quando os pontos de aterramento estão separados por grandes distâncias físicas. Os fatores agravantes são os sistemas de aterramento com referencial muito ruidoso, e a utilização de circuitos analógicos de baixos níveis.

Portanto, diante dos elevados riscos mencionados, as melhores alternativas são a escolha de aparelhos sem problema de pino 1, ou no caso de aparelhos existentes, a correção desses problemas, e ainda, a opção pelo sistema de aterramento mais conveniente.

Mas também há outras técnicas de controle de ruído que podem ser aplicadas. Vamos nos aprofundar um pouquinho nelas, iniciando com as técnicas de isolação.

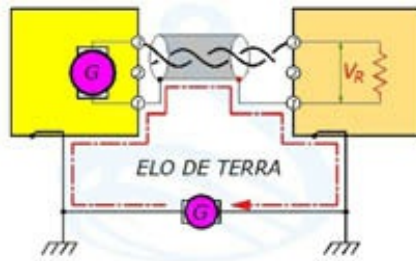


figura 9.46 elo de terra e fonte de voltagem numa interligação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
A figura 9.46 mostra dois aparelhos de áudio de um mesmo sistema interligados entre si, e aterrados em locais diferentes.

As linhas traço-ponto mais cheias do desenho representam o elo de terra resultante, porquanto o gerador da parte inferior representa a fonte de voltagem que se estabelece.

É essa a combinação que provoca a situação de ruído que poderemos ter que discriminar.

Inicialmente, devemos comparar a magnitude do ruído com a dos sinais de áudio. Se concluirmos que o ruído é tal que a relação sinal/ruído do sistema é pouco afetada com a operação nessas condições, providências são desnecessárias. Do contrário, medidas corretivas devem ser tomadas.

As técnicas de isolamento são empregadas exatamente com o objetivo de eliminar ou reduzir esses efeitos nocivos, com a quebra dos elos de terra.

Existem inúmeras possibilidades de implementá-las, todas discutidas a seguir.

9.7.7.1 Transformadores

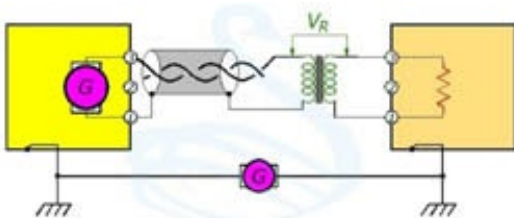


figura 9.47 elo de terra quebrado com a inserção de transformador, sendo que voltagens de ruído ficam confinadas entre primário e secundário do transformador acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
A figura 9.47 mostra o mesmo circuito da figura 9.46, mas agora isolado por um transformador.

Percebe-se que a voltagem de ruído aparece então entre os enrolamentos do transformador, e não mais na entrada do circuito da carga.

Ainda assim, o ruído pode ser acoplado através da capacitância parasítica existente entre os enrolamentos do transformador.

Transformadores com blindagem de Faraday reduzem significativamente esse acoplamento indesejável.

A principal desvantagem dessa técnica é o elevado preço dos bons transformadores. Que são os únicos que funcionam bem. E soluções desse gênero são geralmente muito eficazes.

9.7.7.2 Choque de Modo Comum o dispositivo

Os choques de modo comum, ou choques longitudinais, ou ainda, transformadores

neutralizadores, são componentes com quatro terminais.

Inseridos nos circuitos, eles introduzem altas indutâncias em série para as fontes de voltagem de modo comum, apresentando efeitos absolutamente desprezíveis para sinais de modo diferencial.

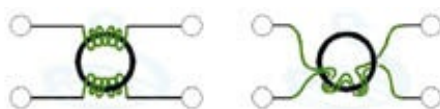


figura 9.48 duas maneiras simples de obtenção de choques de modo comum acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Todo choque de modo comum tem dois enrolamentos independentes, ambos com a mesma quantidade de espiras.

Os enrolamentos são feitos sobre um núcleo toroidal de ferrite.

Núcleos sem entreferro são particularmente desejáveis para esta aplicação, pois os com entreferro possuem a propriedade indesejável de radiar campos magnéticos.

A figura 9.48 mostra duas maneiras fáceis de construir choques de modo comum.

a aplicação

Aplicados às linhas balanceadas, os efeitos dos choques de modo comum sobre os sinais diferenciais são realmente mínimos.

Mas as impedâncias para ruídos de modo comum são muito elevadas.

Desse modo, sinais de modo diferencial, inclusive componentes CC, passarão facilmente pela interligação assistida pelos choques, mas os ruídos CA de modo comum serão rejeitados.

Também é possível e habitual utilizarmos vários choques de modo comum construídos sobre o mesmo núcleo, cada um servindo a uma interligação diferente.

A utilização de um mesmo núcleo toroidal servindo mais do que um só circuito é uma prática que facilita bastante a aplicação dos choques de modo comum numa grande série de casos, por exemplo em consoles de mixagem.

Esta técnica conduz a uma economia de espaço e de componentes, sem qualquer contrapartida, a exemplo de problemas de diafonia.

Como mostra a figura 9.49, a aplicação dos choques de modo comum na interligação entre dois aparelhos é extremamente simples.

E o grau de isolação assim obtido é excelente.

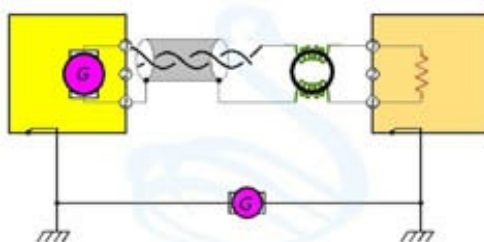


figura 9.49 interligação entre dois aparelhos com a inserção de um choque de modo comum acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há uma maneira de se obter o mesmo efeito produzido pelos choques de modo comum, empregando transformadores simples. Nesse caso, o transformador deve ter relação de espiras 1:1. O componente deve ser ligado como mostra a figura 9.50.

Fica claro, então, que a voltagem de ruído de modo comum aparece entre os enrolamentos do transformador, e não na entrada da carga.

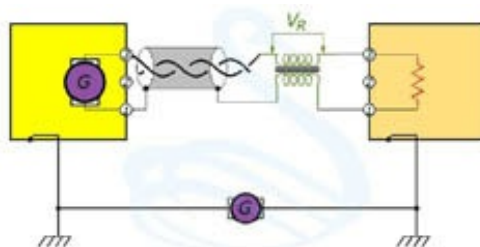


figura 9.50 interligação entre dois aparelhos com a inserção de um transformador, cuja função é a de um choque de modo comum acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 9.7.7.3 Acopladores Óticos Os acopladores óticos possibilitam a obtenção de um método eficaz de eliminar ruídos de modo comum, uma vez que sua inserção na interligação interrompe o caminho metálico entre os dois pontos de aterramento.

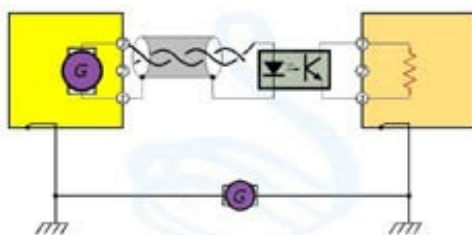


figura 9.51 interligação entre dois aparelhos com a inserção de um acoplador ótico com funções de isolamento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como ilustra a figura 9.51.

Sua eficácia é excelente, principalmente para casos nos quais as diferenças de voltagem entre os dois pontos de terra são muito elevadas. E eles continuarão operacionais mesmo que esses valores atinjam milhares de volts.

A figura mostra a interrupção da interligação física. Assim, é fácil entendermos que a voltagem de ruído de modo comum venha a aparecer apenas entre os terminais de entrada do acoplador ótico, e não na entrada da carga.

O emprego desses componentes é extraordinariamente útil nas circuitações digitais.

Sua utilização em circuitos analógicos deve ser estudada com cuidado, pois nem sempre a linearidade desses dispositivos é aceitável.

9.7.7.4 Balanceamento Os circuitos balanceados que discutimos anteriormente podem ser representados com a forma geral da figura 9.52.

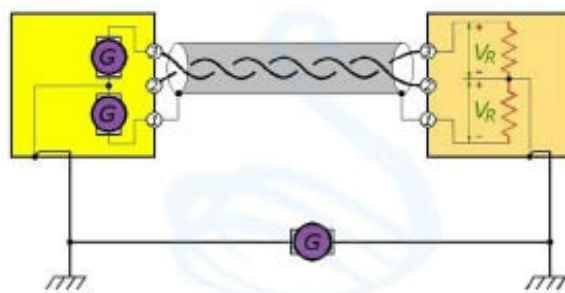


figura 9.52 modelo genérico de interligação entre dois aparelhos balanceados acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vimos ao longo deste livro que circuitos balanceados são uma maneira eficiente de discriminar voltagens de ruído modo comum.

De fato, as voltagens de ruído geralmente induzem correntes elétricas iguais nos dois ramos

do circuito balanceado.

Sabemos que a entrada balanceada só responde a diferenças de sinal entre os dois condutores, portanto, rejeitando os ruídos de modo comum.

Também já vimos que quanto melhor é o balanceamento, maior é a rejeição desses ruídos.

Assim, sistemas efetivamente profissionais operam exclusivamente com aparelhos equipados com entradas e saídas balanceadas, interligados por linhas também balanceadas.

Portanto, o uso de ligações balanceadas desde os pontos de entrada de um sistema de áudio até seus pontos de saída é uma técnica de combate aos ruídos. Embora a maioria de nós saiba disso, é incrível como na prática a regra é burlada pelo uso de uma ou mais interligações não balanceadas entre as balanceadas.

9.7.7.5 Aterramento Seletivo O aterramento seletivo é uma solução moderna e eficaz que visa neutralizar alguns dos problemas específicos, não imaginados quando os primeiros sistemas de energia começaram a ser implantados nas grandes cidades.

Sua aplicação é apropriada para casos nos quais as voltagens de ruído de modo comum estão numa frequência diferente do sinal que queremos transmitir pela interligação.

Situação na qual o aterramento seletivo é uma técnica que pode se mostrar bastante eficiente.

As figuras 9.53 e 9.54 mostram duas maneiras de obter esse tipo de aterramento.

Na figura 9.53, a configuração híbrida do sistema de aterramento funciona como um aterramento de ponto único para baixas frequências e multiponto para as altas frequências, porquanto a configuração da figura 9.54 funciona como um aterramento de ponto único para altas frequências, e multiponto para as baixas frequências.

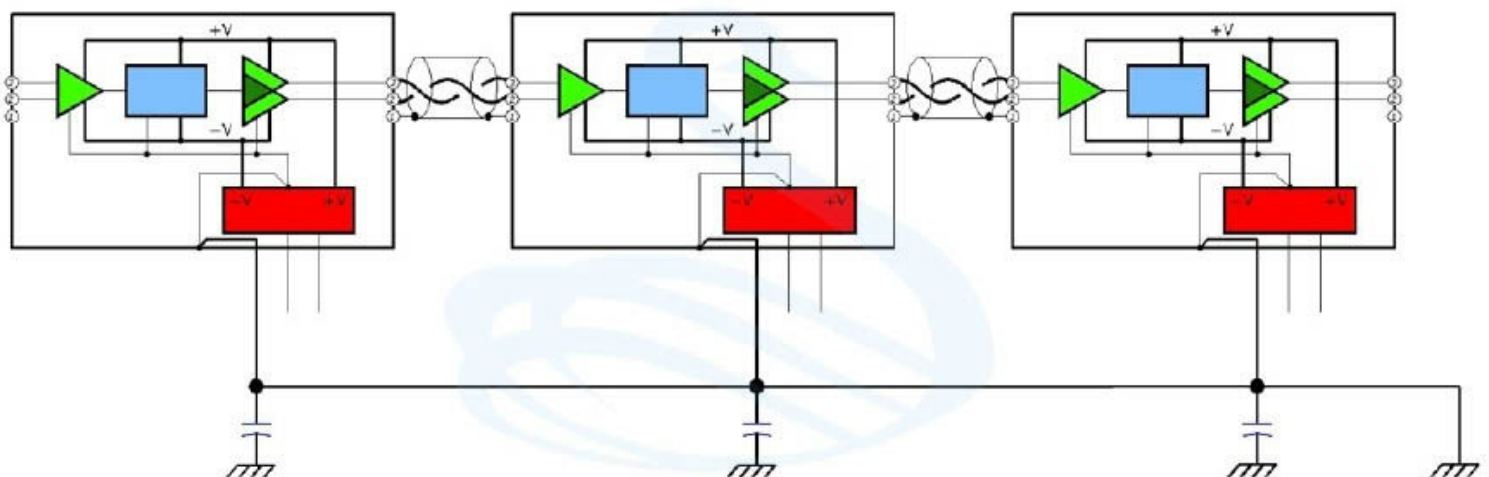


figura 9.53 sistema de aterramento híbrido, que funciona como um aterramento de ponto único para baixas frequências e multiponto para as altas frequências acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os desenhos representam configurações série. Mas configurações paralelas podem ser utilizadas.

Do mesmo modo, também podem ser utilizadas configurações híbridas, misturando partes paralelas e outras seriadas, que em sua arquitetura ou forma elétrica crie passos de baixas e/ou

de altas frequências para a terra.

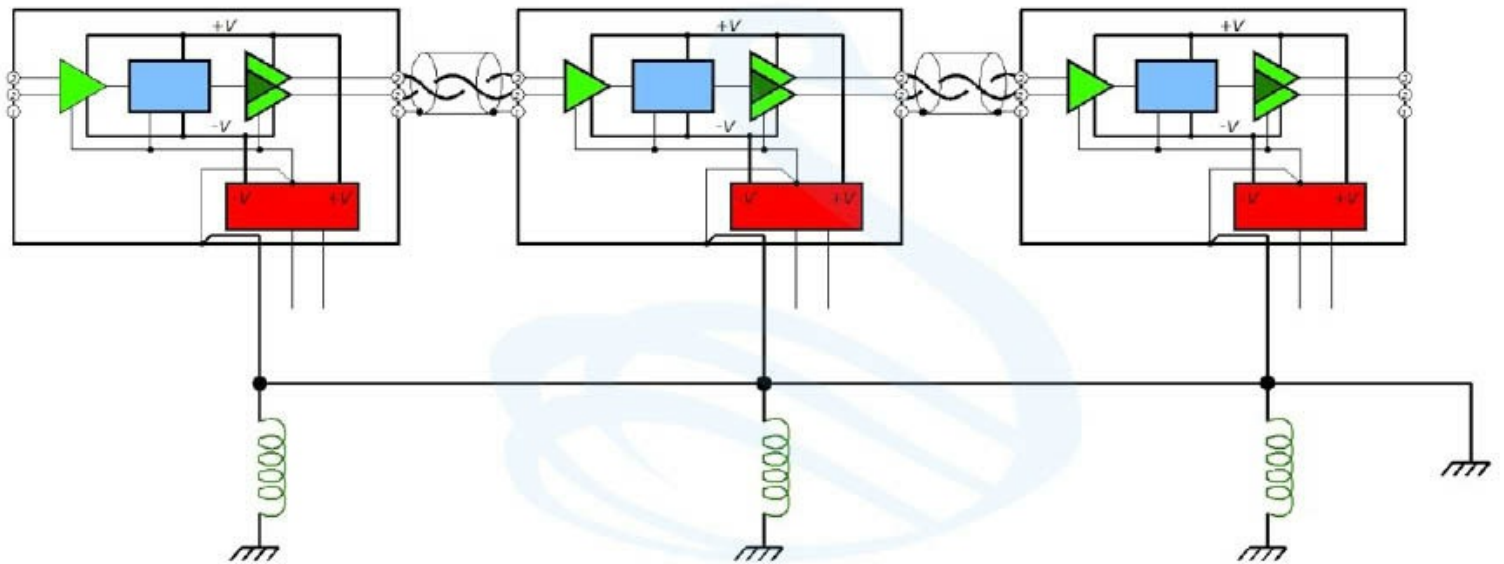


figura 9.54 sistema de aterramento híbrido, que funciona como um aterramento de ponto único para altas frequências, e multiponto para as baixas frequências acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

9.7.7.6 Contas de Ferrite O nome ferrite é hoje associado a uma família de cerâmicas não condutoras, cuja composição inclui óxidos de ferro, de cobalto, de níquel, de zinco, de magnésio, além de alguns outros materiais raros.

As principais vantagens dos ferrites sobre os materiais ferromagnéticos são a resistividade elétrica muito elevada e as baixas perdas de corrente, mesmo em frequências na casa dos gigahertz.

As contas de ferrite possibilitam perdas substanciais em muito altas frequências, especialmente acima de 1 MHz, sem alterações significativas impostas às frequências de áudio.

Como se vê na figura 9.55.A, que procura reproduzir a forma física de uma conta de ferrite, estes componentes são apenas tubinhos ocos de ferrite.

Os condutores são simplesmente passados pelos furos centrais dos tubinhos, como se estes fossem contas de um colar. O que dá origem ao nome do dispositivo.

A figura 9.55.B mostra o circuito equivalente do componente, porquanto sua representação esquemática, como empregada em diagramas elétricos de circuitos, é aquela da figura 9.55.C.

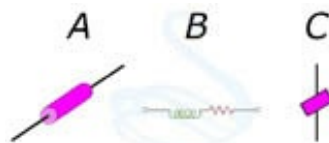


figura 9.55 conta de ferrite - na esquerda a forma física do componente, ao centro o circuito equivalente e à direita a representação utilizada em esquemáticos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

O gráfico da figura 9.56 mostra as curvas de impedância de duas variedades típicas de contas de ferrite.

A curva 1 é típica das contas com características elétricas mais resistivas, e a curva 2 aplica-se às contas mais indutivas.



figura 9.56 curvas de impedância de duas contas de ferrite mais utilizadas como ferramentas no combate aos ruídos em sistemas de áudio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 9.7.8 Separação e Orientação de Bastidores Uma vez que separar fisicamente cabos que conduzem diferentes níveis de sinais de áudio é uma das boas práticas de engenharia, esta razão, por si só, é suficientemente forte para que a levemos em consideração quando elaboramos projetos de sistemas de energias e de infraestrutura técnica, bem como projetos de encaminhamento de cabos que portam sinais de áudio.

No item 9.3.2 discutimos a separação física, e vimos que seus efeitos são muito mais notáveis para pequenas separações iniciais. A figura 9.6 nos ajudava a ver esse fenômeno.

De fato, a lei física que rege a atenuação dos campos envolvidos em função da separação física, estabelece que a redução é de 3,0 dB para cada vez que se duplica a distância de separação.

A tabela 9.9 complementa os dados da figura 9.6, com o objetivo de nos permitir uma melhor visão de como a separação se comporta em função da distância.

tabela 9.9

DISTÂNCIA (cm)	ATENUAÇÃO dB
1,0	3,0
2,0	6,0
4,0	9,0
8,0	12,0
16,0	15,0
32,0	18,0
64,0	21,0
128,0	24,0
256,0	27,0
512,0	30,0

Portanto, uma vez obtidas atenuações iniciais de certa magnitude com separações relativamente pequenas, atenuações posteriores semelhantes só serão conseguidas com distâncias de separação progressivamente maiores.

Até um ponto em que grandes separações praticamente não trazem mais quaisquer atenuações adicionais.

Sabemos agora que o principal objetivo da separação física é atenuar os campos elétrico e magnético.

Do ponto de vista prático, as distâncias que conferem atenuações aceitáveis devem ser

mantidas ao longo de todo o trajeto dos cabos. E não apenas em certos trechos.

De modo a observarmos mais rigorosamente esse critério de separação contínua, os cabos devem ser mantidos separados mesmo no interior dos bastidores que contém os aparelhos.

Por isso, as técnicas de organizar os cabos no interior dos bastidores começam com cuidados especiais de planejamento, e terminam com os cabos convenientemente separados e fixados.

A fixação mecânica dos cabos no interior dos bastidores é parte integrante de qualquer dessas técnicas, de vez que esta é a única maneira segura e eficiente, capaz de garantir que os cabos se mantenham regularmente afastados uns dos outros ao longo do tempo.

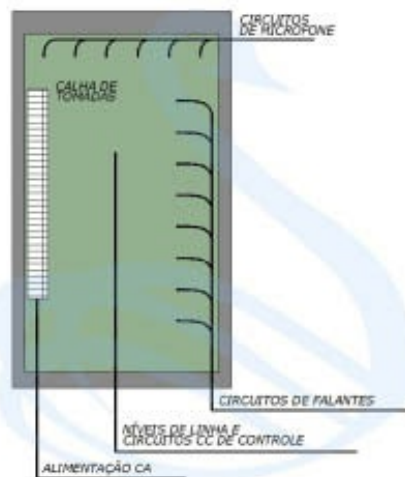


figura 9.57 arranjo básico de bastidor, com separação de cabos de acordo com os níveis dos sinais conduzidos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há várias maneiras de se obter os afastamentos e fixações dos cabos nos bastidores. A figura 9.57 mostra um arranjo básico no interior de um bastidor, enfatizando as separações e as orientações dadas aos cabos portanto diferentes níveis de sinal.

9.7.9 Técnicas de Filtragem 9.7.9.1 Filtros Acessórios

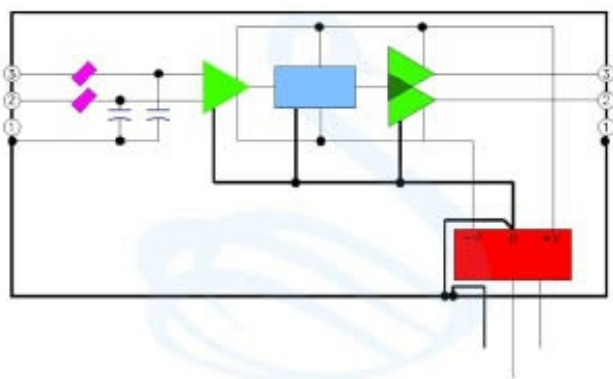


figura 9.58 aparelho de áudio incorporando filtro rejeitor nos circuitos de entrada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma vez que os ruídos de modo diferencial tenham atingido os circuitos, eles serão tratados exatamente como sinais, que também são de modo diferencial. Portanto, serão acolhidos, receberão boas vindas, e serão processados.

A estas alturas, a única maneira de reduzi-los é através de técnicas de filtragem.

Se a frequência, ou banda de frequências de ruído está na faixa de áudio, é possível que os filtros também atenuem parte dos sinais.

Os filtros de RF que incorporam as contas de ferrite são uma combinação de filtragem

muito poderosa.

Próprios para altas frequências, esses dispositivos, mais conhecidos como filtros rejeitores, são ilustrados na figura 9.58.

9.7.9.2 Modificações de Circuito Outra forma de obter filtragem é através da adição de alguns poucos componentes à circuitação eletrônica original dos aparelhos.

Entretanto, deve-se considerar que essas modificações só podem ser feitas por especialistas em circuitos, e mesmo assim, devemos estar cientes que elas podem acarretar inúmeras consequências, a exemplo da provável perda de garantia do produto modificado, de possíveis incompatibilidades para substituições futuras, e outras.

Por tais razões, essas modificações são frequentemente não recomendadas.

Alternativamente, é possível entrar em contato com os fabricantes, e solicitar que uma ou mais dessas alterações sejam feitas em fábrica.

filtragem da linha CA De um modo geral, a filtragem das linhas CA é bem mais difícil do que possa parecer. Mas muitas vezes, alguns procedimentos simples poderão surtir efeitos surpreendentemente favoráveis.

Um destes procedimentos, esquematizado na figura 9.59, é a forma mais simplificada de filtragem de linha CA.

Os capacitores são de disco cerâmico, e seus valores podem estar entre 0,01 e 0,02 μF , e as voltagens CC de trabalho não devem ser inferiores a 1.500 volts.

Capacitores com valores acima de 0,02 μF não são recomendados, pois podem implicar em riscos de choques elétricos.

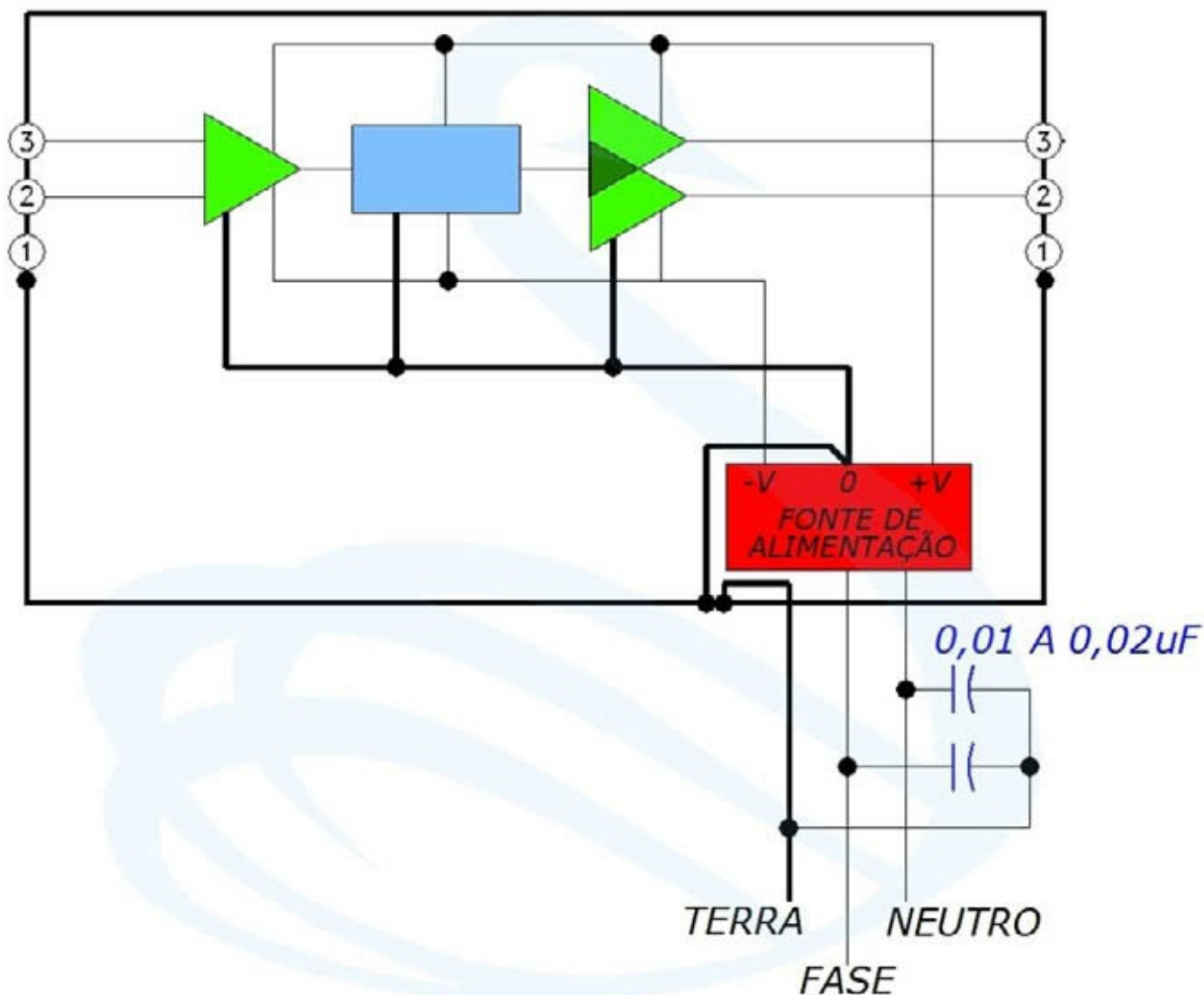


figura 9.59 forma simplificada de filtragem de linha CA num aparelho de áudio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne filtragem da circuitação dos amplificadores

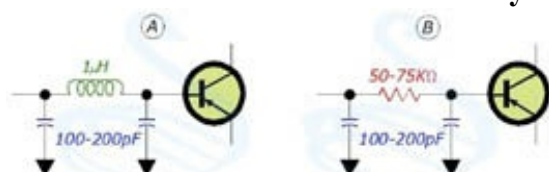


figura 9.60 filtros passa baixas, formato π , inseridos na circuitação de entrada dos amplificadores acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando a circuitação dos amplificadores é atingida por ruídos de altas frequências, uma das possíveis soluções práticas é introduzir um filtro passa baixas em seu primeiro estágio.

O tipo ideal de filtro a ser empregado vai depender essencialmente da topologia da circuitação do amplificador, sobretudo de seu estágio de entrada.

Portanto, os esquemas da figura 9.60 têm finalidade apenas ilustrativa. No caso da figura 9.60.A, o filtro é do tipo LC, formato π , e no caso da figura 9.60.B, o filtro é do tipo RC, também com formato π .

Os valores dos componentes devem estar dentro dos limites indicados nas figuras.

Quando os movimentos do potenciômetro do atenuador de entrada do amplificador não têm efeito sobre os níveis de ruído, há probabilidade de que estes estejam sendo captados pela fiação dos alto-falantes.

Para que se tenha uma ideia, se essa fiação tiver comprimento de apenas 2,5 metros, então teremos a antena ideal para frequências de 30 MHz.

Entre as possíveis soluções para os problemas de captação de ruídos pela fiação dos alto-falantes, há quatro delas mais utilizadas. Duas delas ilustradas na figura 9.61.

Na figura 9.61.A são instalados capacitores pelo método shunt, cujos valores não são críticos, pois dificilmente irão afetar a qualidade do áudio.

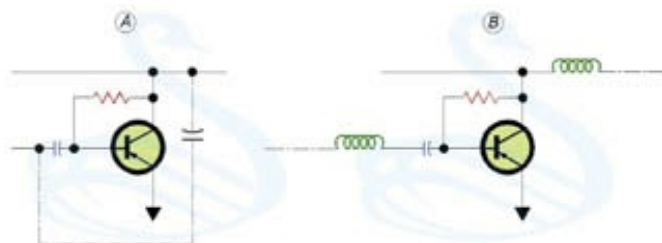


figura 9.61 filtros passa baixas inseridos na circuitação de entrada dos amplificadores acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 9.61.B, são inseridos indutores em série na entrada e na saída do estágio de entrada.

Esta alternativa é eficiente para locais próximos a transmissores de rádio operando com potências de 50 KW, ou mais.

Cada indutor deve ser de 1,5 mH para ruídos com frequências de até 20 MHz, de 500 μ H para frequências entre 20 e 50 MHz, e de 100 μ H para frequências entre 50 e 500 MHz.

A terceira solução pode ser tentada em vários passos sequenciais.

Inicialmente, com o reencaminhamento da fiação que liga o amplificador aos alto-falantes. Para sistemas profissionais já implantados, isso geralmente não é possível.

O próximo passo é fazer variar o comprimento da fiação. Se isso também não for possível, ou não apresentar os resultados desejados, pode-se instalar capacitores entre os terminais dos falantes e a carcaça metálica do aparelho.

Como mostra a figura 9.62.



figura 9.62 filtragem com capacitores aplicados entre os bornes de saída dos amplificadores para alto-falantes, e a terra acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A função destes componentes é criar caminhos para a terra, através dos quais os ruídos de altas frequências possam escoar.

Capacitores de até 0,01 μ F não alterarão o desempenho de aparelhos em altas frequências. A partir daí, é possível que hajam alterações sônicas perceptíveis.

Uma vez instalados esses capacitores, é sempre aconselhável que as formas de onda de programas musicais sejam observadas num osciloscópio, em condições de elevados regimes de sinais de saída.

O objetivo do teste é duplo.

Um, para que se possa ter certeza de que não há ruídos de altas frequências superpostos às formas de onda de baixas frequências.

E o outro, para nos certificarmos que os amplificadores são suficientemente estáveis operando com estas cargas adicionais.

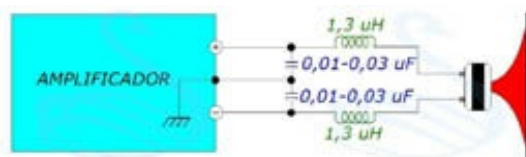


figura 9.63 filtragem passa baixas aplicada em série entre os bornes de saída dos amplificadores para os alto-falantes, e os próprios acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Amplificadores muito estáveis podem trabalhar com capacitores de valores excepcionalmente elevados. Mas vimos que isso também pode prejudicar a resposta de frequência do sistema, o que nem sempre é tolerável.

A quarta solução, para casos mais sérios, é instalar um filtro passa baixas entre os terminais de saída dos amplificadores e os alto-falantes, como na figura 9.63. Quaisquer dessas soluções só poderá surtir efeito se o aterramento for de qualidade, pois do contrário, não é possível estabelecer um caminho de baixa impedância para conduzir os ruídos para terra.

antena de sintonizadores

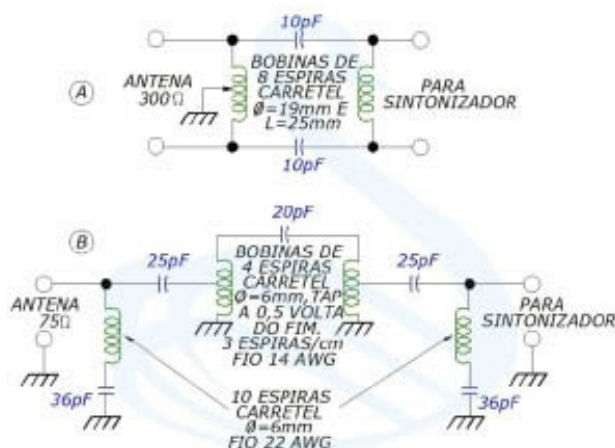


figura 9.64 filtragem para antenas de sintonizadores de FM

Acima, antena de 300 Ω, abaixo, antena de 75 Ω

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Embora sintonizadores de FM só façam parte de uma pequena parcela de sistemas profissionais de áudio, eles estão presentes em praticamente todos os auditórios, anfiteatros e teatros, sistemas de difusão de música funcional, e outros tantos.

E muitas vezes os ruídos são trazidos pelas antenas dos sintonizadores.

Para ter certeza de que o problema é esse, apenas desligue a antena do receptor.

Se o ruído desaparecer misteriosamente, é bastante provável que seu meio de condução seja exatamente este.

Diante disso, há duas soluções. Substituir a antena por outro modelo, com características e principalmente, comprimentos diferentes, ou, se isso não for possível ou prático, aplicar um filtro diretamente na antena.

A figura 9.64.A mostra um filtro para antenas de 300 Ω (fitas paralelas, com ou sem blindagem), e na figura 9.64.B está esquematizado um filtro para antenas de 75 Ω (cabos

coaxiais).

lâmpadas fluorescentes Disse anteriormente que quando a fonte de ruído está próxima, e sob nosso controle, em geral é mais fácil tentar eliminar o ruído localmente do que elaborar toda uma solução para o sistema de energia, e eventualmente até mais do que apenas isso.

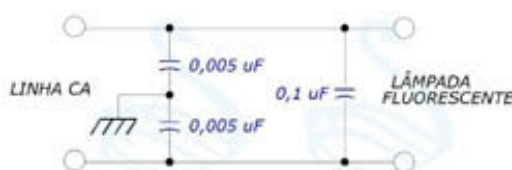


figura 9.65 filtragem para lâmpadas fluorescentes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Um caso típico que caracteriza essa situação, por sinal bastante frequente, é quando as interferências são todas provocadas somente por lâmpadas fluorescentes.

Para termos certeza de que esta é mesmo uma fonte de interferência, é suficiente desligar as lâmpadas.

Se o ruído sumir quando as lâmpadas forem desligadas, e tornar a aparecer quando elas forem religadas, não devem haver dúvidas. Especialmente depois de termos feito uma ou duas dúzias de testes.

E se os ruídos só se manifestam com as lâmpadas ligadas, é quase certo que essa é a única fonte de ruídos.

A solução prática é utilizar um filtro de zumbido, como o esquematizado na figura 9.65.

Os capacitores escolhidos devem ter voltagens CC de trabalho de 500 VCC, ou superiores, para redes de 110 volts CA.

O condutor para o aterramento deve ser tão curto quanto possível.

Se a lâmpada estiver corretamente instalada, a ferragem de fixação estará aterrada, e esse é o ponto terra que recomendo utilizar.

dimmers

Como no caso das lâmpadas fluorescentes, muitas vezes os dimmers também podem ser tratados isoladamente, e como tal, independentes dos sistemas de áudio.

Vários fabricantes desses dispositivos já se conscientizaram de que os produtos que usam SCRs ou TRIACs produzem ondas quadradas de altas frequências, com excepcional capacidade de interferência sobre os sistemas de áudio.

As queixas e reclamações desse particular tipo de interferência são muitas.

A razão principal disso, aliás óbvia para qualquer indivíduo com um pouco de senso de observação, é que em praticamente qualquer local onde há um sistema de áudio instalado, também coexiste um sistema de iluminação, seja ele técnico ou não.

Por isso, muitos daqueles fabricantes já tomaram providências capazes de aliviar consideravelmente o inconveniente.

Outros não. Ou se já, as providências ainda estão por vir.

Apesar de sua simplicidade, o filtro esquematizado na figura 9.66 é eficaz para a maioria das situações.

O único cuidado a observar aqui é que a voltagem CC de trabalho dos capacitores deve ser no mínimo 500 VCC, para linhas de 110 volts CA.

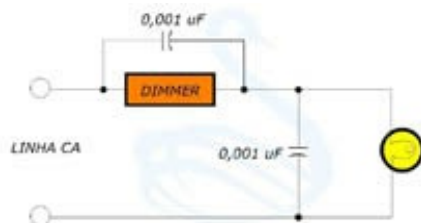


figura 9.66 filtragem para dimmers acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 10 **instalações e manutenção**



Conteúdo do capítulo 10

10. INSTALAÇÃO

10.1 O QUE É A INSTALAÇÃO

10.2 PLANEJAMENTO

10.2.1 O Que Deve Ser Feito 10.2.2 Condições de Campo na Obra 10.2.2.1 Condições de Campo na Obra 10.2.2.2 Aspectos Administrativos 10.2.2.3 Tipo de Apoio Necessário 10.2.2.3 Aspectos Administrativos 10.2.2.5 Outros Aspectos 10.3

RECURSOS DE ESCRITÓRIO

10.3.1 Suprimentos

10.3.2 Documentação

10.3.3 Normas e Práticas de Instalação 10.3.4 Ferramentas e Acessórios 10.3.4.1 Ferramentas

10.3.4.2 Acessórios

10.3.5 Instrumental

10.3.6 Material de Instalação 10.4 RECURSOS EM CAMPO

10.4.1 Mão de Obra Especializada 10.4.2 Organização

10.4.3 Apontamentos

10.5 DESENVOLVIMENTO DOS SERVIÇOS EM CAMPO

10.5.1 Primeira Fase - Na Oficina da Empresa Instaladora 10.5.2 Segunda Fase - Passagem de Cabos e Engenharia de Cabos em Campo 10.5.2.1 Engenharia de Cabos em Campo 10.5.3 Terceira Fase - Montagem Mecânica I 10.5.4 Quarta Fase - Montagem Mecânica II 10.5.5 Quinta Fase – Confecção de Cabos 10.5.5.1 Introdução 10.5.5.2 Conectores 10.5.5.3 Soldas e Soldagens 10.5.5.4 Montagem de Cabos de Rede 10.5.6 Sexta Fase - Interligações e Acabamento 10.5.7 Sétima Fase - Testes 10.5.8 Oitava Fase - Alinhamento 10.5.9 Nona Fase - Entrega do Sistema e da Documentação Técnica 10.5.10 Décima Fase - Treinamento 10.6 RIGGING

10.6.1 Introdução

10.6.2 Conceitos primários 10.6.2.1 Planejamento

10.6.2.2 Massa, Gravidade e Peso 10.6.2.3 Centro de Gravidade, Equilíbrio e Estabilidade 10.6.3 Estruturas

10.6.3.1 Prólogo

10.6.3.2 Estruturas de Concreto 10.6.3.3 Resistências Mecânicas 10.6.3.4 Estruturas Metálicas 10.6.3.5 Estruturas de Madeira 10.6.4 Parafusos

10.6.4.1 Prólogo

10.6.4.2 Materiais Utilizados na Fabricação 10.6.4.3 Tração e Cisalhamento na Prática 10.6.4.4 Colapso e Fadiga 10.6.4.5 Corrosão Galvânica 10.6.4.6 Fator de Segurança (FS) 10.6.5 Chumbadores, Parabolts e Buchas 10.6.5.1 Parabolts

10.6.5.2 Buchas

10.6.5.3 Buchas Químicas 10.6.6 Cabos de Aço e Acessórios 10.6.6.1 Recomendações Gerais 10.6.6.2 Acessórios

10.6.6.3 Grampos

10.6.6.4 Manilhas

10.6.6.5 Ganchos

10.6.6.6 Anelão

10.6.6.7 Lingas

10.6.6.8 Esticadores

10.6.6.9 Prensa Cabo

10.6.6.10 Luvas de Emenda 10.6.6.11 Olhais

10.6.6.12 Sapatilha

10.6.6.13 Soquetes

10.6.7 Correntes

10.6.8 Cintas de Poliéster 10.6.8.1 tipos

10.6.8.2 Capacidade das Cintas de Poliéster 10.6.8.3 Fator de Segurança (FS)

10.6.8.4 Código de Cores 10.6.8.5 Cintas Circulares 10.6.9 Cordas

10.6.10 Polias, Talhas e Cadernais 10.6.10.1 Polias

10.6.10.2 Associações de Polias 10.6.10.3 Cadernais

10.6.10.4 Talhas Manuais 10.6.10.5 Talhas Elétricas 10.6.10.6 Talhas Pneumáticas

10.6.11 Dispositivos Elevatórios 10.6.11.1 Andaimos

10.6.11.2 Balancins

10.6.11.3 Cadeirinhas

10.6.11.4 Mini Plataformas 10.6.11.5 Mini Grua

10.6.11.6 Plataforma Tesoura 10.6.11.7 Plataforma Individual 10.6.11.8 Guincho de Coluna 10.6.11.9 Munck

10.6.11.10 Lanças Telescópicas 10.6.11.11 Lanças Telescópicas Articuladas

10.6.11.12 Guindastes

10.6.11.13 Escada Magirus 10.6.12 Pontos de Ancoragem 10.6.12.1 Bumper e Gride

10.6.12.2 Caixas Acústicas Convencionais 10.6.12.3 Caixas Acústicas Line Array
10.6.12.4 Barra Longitudinal de Ajuste 10.6.13 Suportes Especializados 10.6.14
Manual x Mecânico 10.6.14.1 Introdução
10.6.14.2 Içamento e Movimentação Mecânica 10.6.14.3 Içamento e Movimentação
Manual 10.6.15 Recomendações Gerais para um Rigging Seguro 10.6.15.1 Boas
Práticas de Engenharia 10.6.15.2 EPI (Equipamento de Proteção Individual)
10.6.15.3 Áreas de Risco 10.6.15.4 Tipos de Amarrações e Cestas/Redes de
Içamento 10.6.15.5 Cargas Assimétricas e/ou Ventos 10.6.15.6 Identificações de
Capacidade 10.6.15.7 Fator de Segurança (FS) 10.6.15.8 Lubrificação dos Cabos de
Aço 10.6.15.9 Sinalização

10.7 MANUTENÇÃO DE SISTEMAS PROFISSIONAIS DE ÁUDIO

10.7.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA 10.7.1.1 substituição planejada (aplicável a
todos os componentes cujas confiabilidades sejam as mais críticas) 10.7.1.2
procedimentos experimentais 10.7.1.3 o que incluir na manutenção preventiva 10.7.2
MANUTENÇÃO PREDITIVA 10.7.2.1 prognósticos

10.7.2.2 software

10.7.3 MANUTENÇÃO CORRETIVA 10.7.4 OUTROS TÓPICOS DE
MANUTENÇÃO

10.7.4.1 técnicas de administração 10.7.4.2 escalões

10.7.4.3 a logística em foco 10. INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO

O assunto instalação é tão rico, tão vasto e tão importante que, com certeza, um livro bem robusto exclusivamente dedicado a ele não seria uma obra em vão.

Diante disso, ainda que quisesse, não me seria possível abordar o tema de forma detalhada o suficiente para apresentação neste trabalho. Mas reconheço que saber instalar um sistema profissional de sonorização é uma arte. Que para ser completa exige planejamento, uma série de conhecimentos técnicos e administrativos, mão de obra especializada, e uma dose quase que infinita de carinho e capricho, além de todo o suporte logístico de escritório e de campo.

Penso que faltaria algo neste livro se ao menos não discutíssemos os tópicos básicos da instalação. E este é objetivo deste capítulo.

10.1 O QUE É A INSTALAÇÃO

A instalação de um sistema eletroacústico é, sob muitos aspectos, um dos cartões de visita principais de qualquer empresa instaladora. De fato, bastidores bem organizados por dentro e por fora, cabos identificados e arranjados em grupos, todos bem arrumados e seguindo trajetos racionais, elementos suspensos pesados ou leves, fixados de maneira previamente concebida e

pensada, com suportes devidamente calculados e de aparência bem cuidada, visuais limpos de forma generalizada, indicando que houve muito cuidado, zelo e planejamento prévio, disposições lógicas para equipamentos, com qualidades ergonômicas, o acabamento profissional, tudo isso impressiona favoravelmente, e serve como excelente parâmetro para a aferição de padrões de qualidade.

E não é só a questão visual que está em jogo. Com efeito, sistemas bem engenheirados, bem projetados, formados exclusivamente por equipamentos de primeira, mas mal instalados, estão sujeitos a problemas constantes. Ou seja, não são confiáveis. O que não ocorre por mero acaso, mas porque é na instalação que se lida com os pontos mais vulneráveis de quaisquer sistemas.

Senão, vejamos. Amplificadores e alto-falantes danificados constituem de longe a maior ocorrência de “defeitos” nos sistemas eletroacústicos.

Se admitirmos que, salvo exceções, esses “defeitos” resultam apenas de projetos mal dimensionados, ou de sua ausência, podemos concluir que isso deixa de ocorrer em sistemas bem dimensionados.

Passamos então aos vice campeões de ocorrência. Ligações conector-conector, e conector-cabo. E ainda, mal contato. Ora, soldagens de conectores e interligações em geral são sempre parte integrante de toda e qualquer instalação. E aqui entram em cena as técnicas de soldagem, de crimpagem, o cuidado com a realização das tarefas, os bons hábitos de se verificar e testar cada ponto de solda efetuado, cada cabo terminado, e assim por diante.

Entre os defeitos também costumam ser muito frequentes os casos de interferência eletromagnética, geralmente consequência de cabos desorganizados, falta de observação de espaçamento entre condutores portando diferentes níveis de sinal, e outras causas. Embora tudo isso possa ser contornado em projeto, é mesmo na instalação que cuidados específicos e retoques finais podem fazer uma grande diferença entre os sistemas. Enfim, determinar o que é joio e o que é trigo.

Um bom projeto sempre considera todos os aspectos de manutenção. Prevendo caixas para inspeções de cabos, pontos de testes em geral, e fácil acesso a cada item, inclusive para retiradas e recolocações.

Mas observar todas essas regrinhas de projeto é tarefa de campo. E alterar ou propor alterações capazes de melhorar ainda mais as condições projetadas, também.

Outro item que facilita não só os serviços de manutenção, mas verificações de quaisquer naturezas, é a identificação de todos os cabos do sistema. Outra tarefa de instalação.

Dessa forma, apenas uma instalação muito bem feita pode coroar o sistema bem projetado, para que o resultado seja a integridade física do todo, sua alta confiabilidade, além do visual

agradável.

Por todos esses motivos, a instalação de um sistema eletroacústico é serviço para profissionais. Devidamente treinados, aparelhados, e se possível, com bastante experiência.

Mas a instalação não é só serviço de campo. A começar com o planejamento, nosso próximo item.

10.2 PLANEJAMENTO

O objetivo com qualquer serviço de instalação é que o trabalho seja realizado com a maior qualidade possível, dentro dos prazos ajustados com o cliente, e ao menor custo praticável. O que só se consegue com planejamento.

Em essência, planejar uma atividade qualquer é avaliar detalhadamente tudo o que precisa ser feito, e estabelecer como fazê-lo do modo mais inteligente. Quando a atividade é complexa, como a instalação de um sistema eletroacústico, mais inteligente tem o sentido de dividir a atividade complexa em tarefas menores, e eventualmente, essas tarefas menores em subtarefas funcionais, e estabelecer quando, como e quem as fará.

Naturalmente, os indivíduos encarregados de executar cada uma das tarefas e subtarefas em campo devem ser instaladores profissionais. O mesmo se aplica às tarefas de escritório. O treinamento prévio e a experiência nas tarefas que vão realizar é algo quase indispensável nos profissionais envolvidos.

Algumas tarefas são praticamente independentes, ou seja, não dependem de outras. Em contrapartida, a maioria delas exigirá a realização de tarefas anteriores. O que enseja que a ordem de programação das tarefas e subtarefas, ou plano de trabalho, deve ser muito bem concatenado. A ordem de execução das tarefas deve ser lógica. Tarefas e subtarefas interdependentes devem estar encadeadas numa sequência que permita sua realização contínua, sem paralisações ou retrocessos.

Para que tudo isso possa funcionar devidamente, as pessoas encarregadas do planejamento devem ter o domínio completo da atividade complexa. Isto é, além de saber exatamente o que deve ser feito, é preciso que tenham também todas as informações das condições de serviço no local da obra.

A partir desses dados é então possível antecipar a maioria dos eventuais problemas e dificuldades que podem ocorrer. E portanto, pensar com antecedência nas respectivas soluções. E ainda, avaliar, prever e disponibilizar todos os recursos necessários e indispensáveis para o bom andamento dos serviços.

Mesmo assim, sempre haverá imprevistos e uma parcela de dificuldades de campo, que tipicamente surgem nos momentos mais inoportunos.

O engenheiro chefe de instalação da Cysne Sound Engineering costuma dizer que em instalações não há imprevistos, porque sua ocorrência é sempre previsível. O que os desqualifica como imprevistos.

Claro que esse engenheiro não visa cunhar uma frase de efeito. O que ele quer dizer é que devemos estar preparados para todos e quaisquer eventuais imprevistos. E me parece que a melhor preparação possível nesse sentido é contar com um supervisor de campo experiente, que além de oferecer orientação para os instaladores em tudo o que for necessário, e a qualquer tempo, ainda possa pensar na solução de todas as dificuldades que surjam. Com criatividade e expediente.

Quando o planejamento é bem feito, imprevistos e dificuldades são reduzidos a um mínimo. E com uma boa supervisão, eles sequer chegam a incomodar.

Assim, o planejamento é essencial para que os serviços possam ser desenvolvidos de maneira contínua, racional, e tecnicamente adequada. Ao contrário, sem planejamento, usualmente temos que lidar com perdas de tempo ocasionadas por interrupções e paradas indesejáveis.

O conjunto das ideias que compõem o planejamento deve ser escrito em papel. E então torna-se uma ferramenta de trabalho. Esse documento deve conter a relação completa de todas as tarefas e subtarefas a realizar, com respectivas datas de início e de conclusão, e ainda, a quem compete realizá-las.

Devem haver espaços para que sejam feitas anotações. Particularmente de que as tarefas foram realizadas, e quando.

Portanto, esse papel não é apenas um guia da particular instalação a que se refere, mas também, um instrumento de controle.

O documento em si pode ter as formas de tabela ou de cronograma. Esta última deve ser preferida porque mostra muito mais claramente o encadeamento das tarefas.

Quando a forma de cronograma é adotada, sua parte de planejamento deve estar compatível em tudo com o cronograma comercial, que prevê apenas atividades básicas.

Pode-se dizer que o cronograma de planejamento é uma peça detalhada, como se fosse desenvolvida a partir do cronograma comercial.

Como geralmente quaisquer serviços de instalação contratados são precedidos por propostas técnicas e comerciais, já deve haver uma boa noção do que deve ser feito. Provavelmente também já se dispõe de uma grande quantidade de informações sobre as condições básicas de como os serviços deverão ser prestados em campo. Mas para dar início ao planejamento da instalação é fundamental que a empresa instaladora avalie bem mais a fundo o que deve ser feito, assim como as condições de campo.

Isso é o que discutiremos nos itens 10.2.1 e 10.2.2, a seguir.

10.2.1 O Que Deve Ser Feito Relacionar tudo o que deve ser feito para que uma instalação seja realizada sem problemas é a primeira coisa que as pessoas que planejam a instalação devem fazer. Uma das maneiras eficientes de fazer isso é segmentar as atividades segundo sua natureza. Por exemplo, serviços de campo, providências administrativas e providências técnicas.

As empresas de instalação mais experientes já possuem listas básicas, elaboradas para cada tipo de instalação. Elas servem como referência de consulta para que nada seja esquecido na relação de tarefas.

Entre os serviços de campo estão todos aqueles constantes dos itens 10.5.1 a 10.5.9, a seguir.

As providências administrativas incluem a geração do próprio planejamento, e eventualmente de quaisquer outros documentos que possibilitem o acompanhamento, controle e administração da obra, a exemplo de redes PERT, CPM e outras, bem como toda a parte de suprimentos, a manutenção dos controles e administração da obra, e assim por diante.

As providências técnicas incluem o fornecimento da relação completa de equipamentos e materiais, o fornecimento de toda a documentação técnica necessária para o desenvolvimento dos serviços de instalação, a geração da documentação técnica de sistema para o cliente, a eventual participação em treinamentos, além de todo o suporte técnico que possa se fazer necessário.

Uma vez que todos esses elementos tenham sido reunidos, já é possível fazer o cronograma detalhado de implantação. Embora dito assim de modo simples, este é um trabalho que deve ser feito com o máximo de critério, especialmente quanto ao interrelacionamento das atividades, e que por isso mesmo consumirá algum tempo. Quaisquer dados não disponíveis nesta etapa devem ser admitidos.

Como por exemplo, que haverá recursos humanos suficientes e disponibilidade de ferramental.

10.2.2 Condições de Campo na Obra O engenheiro da empresa instaladora, que de preferência deve ser experiente e conhecer bem os serviços que serão prestados, deve fazer uma ou mais visitas ao local de instalação, visando determinar objetivamente as condições locais.

A ideia dessas visitas é facilitar o trabalho de planejamento, especialmente no que se refere à antecipação de problemas e dificuldades.

É sempre recomendável que essas visitas tenham caráter formal e oficial, e que as

informações colhidas sejam registradas em forma de relatório. De preferência com uma das vias assinada por um representante do cliente.

As principais informações a coletar são:

10.2.2.1 Condições de Campo na Obra • anotação do estágio em que se encontra a obra, e especialmente, o que ainda está por ser feito. Em caso de obras já executadas, anotar eventuais dificuldades. Por exemplo, será muito mais difícil realizar serviços de instalação num prédio tombado como Patrimônio Histórico do que num prédio recém construído, de projeto moderno • inspeção e vistoria da rede de eletrodutos construída para o sistema de sonorização, especialmente quanto à sua conclusão. Todas e quaisquer pendências deverão ser anotadas. Até simples detalhes, como a inexistência de guias e sondas no interior dos eletrodutos • idem acima para a infraestrutura, como caixas terminais, de passagem e de derivação • inspeção e vistoria das salas para equipamentos. Pendências eventuais, como falta de energia, falta de ponto terra verdadeiro, pintura incompleta, etc., devem ser anotadas • inspeção e vistoria de outros locais onde serão instalados equipamentos, inclusive suspensos. Anotar eventuais pendências, como falta de energia, falta de forro, falta de pintura, e outras

10.2.2.2 Aspectos Administrativos • horários usuais da obra • possibilidade de se trabalhar em períodos noturnos, feriados e fins de semana • necessidade e tipo de identificação desejada para os funcionários, e como se dará o acesso aos locais de instalação. Anotar quaisquer necessidades de autorizações especiais e como obtê-las. Idem para o caso de crachás magnéticos, e outros • necessidade de uso de uniformes especiais • necessidade de uso de EPI. Anotar necessidade de capacetes, botas de couro ou de borracha, luvas de couro ou de borracha, cintos de segurança, óculos de proteção, máscaras de filtragem para rosto, e outros • normas e rotinas do cliente que devem ser observadas pela empresa instaladora. Obter cópias do que for preciso • anotar nomes, endereços, telefones e faxes do engenheiro residente, do responsável pela obra, do profissional encarregado de acompanhar e/ou receber os serviços de instalação, e do representante do cliente

10.2.2.3 Tipo de Apoio Necessário • necessidade e existência de local para a guarda de equipamentos e materiais • necessidade e existência de local para a guarda de ferramentas, instrumentos e acessórios • necessidade de montagem de oficina na obra, e disponibilidade de local para tanto • local nas proximidades da obra para eventuais pernoites das equipes de instalação • facilidade de transportes nas imediações • facilidade para refeições nas imediações • necessidade de andaimes, escadas, e acessórios do gênero, e em que quantidades

10.2.2.4 Aspectos Administrativos • voltagem disponível. Em caso de grandes variações, o que é comum em obras, anotar os limites medidos ou informados • tipos de tomadas disponíveis (2 ou 3 pinos, padrões, etc.), ou necessidade de se trabalhar com garras tipo jacaré • necessidade de benjamins e de réguas de tomadas • necessidades de extensões, e de que comprimentos

10.2.2.5 10.2.2.5 Outros Aspectos Além das informações acima, e supondo que o engenheiro tenha estudado a instalação em questão, este é o momento ideal para sejam avaliadas também toda a mão de obra especializada necessária, ferramental, acessórios e instrumentação necessários.

O objetivo disso é que os recursos requeridos possam ser alocados com a antecedência devida.

Muitas vezes a previsão da mão de obra a aplicar é feita por ocasião da elaboração da proposta comercial. Quando esse for o caso, e em havendo grandes diferenças entre a previsão anterior e a feita pelo engenheiro, os autores das previsões devem discutir até que se tenha uma previsão única, que corresponda a um comum acordo entendido como o melhor que se pode fazer.

Mais detalhes sobre as ferramentas e acessórios, sobre o instrumental e sobre a mão de obra especializada nos itens 10.3.4, 10.3.5 e 10.4.1 a seguir, respectivamente.

10.3 RECURSOS DE ESCRITÓRIO

10.3.1 Suprimentos

O suprimento está para os serviços de instalação assim como os insumos de matéria prima estão para uma fábrica. Tudo deve estar disponível a tempo e a hora, sem faltas, sem falhas, sem atrasos.

No caso dos sistemas eletroacústicos é preciso que cada aparelho tenha sido previamente testado quanto a falhas de operação, funcionamento de todos os controles e sinalizações, e também, quanto à integridade física.

Para que o suprimento possa ser feito adequadamente, o profissional que cuida do planejamento deve ter em mãos uma relação completa de todos os equipamentos e materiais necessários, com indicação de quantidades, marcas e modelos, fornecedores habituais da empresa, e se previsto em contrato, de eventuais alternativas de fornecimento.

Além disso, podem haver casos de itens customizados. Diante disso, deverão haver informações de quem construirá esses produtos, e com base em quais informações. Esse elenco de dados deve ser fornecido pelo grupo técnico da empresa, e geralmente poderá ser preparado rapidamente, pois tudo terá como base e ponto de partida os elementos anteriormente já trabalhados para dar origem à proposta comercial.

Isso feito, todos os itens são relacionados de forma a evidenciar as respectivas datas de entrega em campo. Essas datas devem estar baseadas nos prazos previstos no cronograma detalhado, levando-se em conta que é preciso pré testar cada um dos aparelhos e componentes do sistema.

A experiência da empresa indicará quais são os pontos mais críticos do suprimento, e quais são as alternativas possíveis, que deverão ser anotadas para caso de eventual necessidade posterior.

Até aqui falamos de suprimento de equipamentos e materiais. Entretanto, além disso é preciso relacionar todos os demais itens a serem supridos pelo escritório.

Aí entram os documentos, as ferramentas, e tudo o mais que se fizer necessário. Como no caso anterior, é preciso indicar claramente as datas em que cada item deverá ser entregue em campo.

Em geral, ferramentas e acessórios costumam ser levados pelos próprios instaladores. Mas ferramentas de maior porte, instrumentos mais delicados, escadas e andaimes dificilmente poderão ser levados pelas equipes de campo, a menos que as mesmas usem veículos utilitários.

10.3.2 Documentação Mesmo não sendo uma tarefa difícil, é preciso estabelecer para cada obra que documentos deverão ser utilizados em campo pelas equipes de instalação. A tarefa pode ser levada a cabo pela pessoa encarregada do planejamento. Mas a participação da equipe técnica nisto é essencial por duas razões. Uma para não haver enganos, especialmente quanto à falta de documentos. Outra porque o grupo técnico já sabe exatamente o que precisará fazer, e com que prazo.

Mas além dos documentos técnicos também há documentos administrativos, como o próprio cronograma. Os dois tipos de documentos são muito importantes, e a rigor, se complementam.

Os documentos técnicos detalham exatamente o que as equipes de campo devem fazer. Portanto, a falta de qualquer deles invariavelmente acarreta um nível maior de supervisão, ou ainda pior, a interrupção dos serviços, ou ainda, a pior de todas as alternativas, a execução incorreta das tarefas.

Assim, com a falta de qualquer documento em campo, seja porque ele não foi elaborado anteriormente, ou porque não foi lembrado para compor o conjunto de documentos de instalação, aumentam as possibilidades de ocorrência de um ou mais dentre os seguintes resultados: desperdício de tempo com aumento inexorável de custos, atrasos em relação aos prazos previstos em cronograma, e problemas mais desagradáveis como a aplicação de multas pecuniárias e a piora do relacionamento profissional com o cliente, entre outros.

A elaboração da relação completa de todos os documentos de instalação que deverão estar concluídos com a devida antecedência pode ser feita, por exemplo, com base nos documentos discutidos no capítulo 6.

Ou seja, eles podem ser usados para compor um checklist básico de referência.

Para que se tenha a segurança de que cada documento é completo quanto ao conteúdo, de que as informações estão sendo bem transmitidas, de que são legíveis, além de absolutamente corretas, o ideal é conferir cada documento de modo detalhado e cuidadoso.

O que cabe ao grupo técnico.

Mesmo quando se lida com equipes de instalação treinadas e competentes, e que se tenha uma supervisão de campo eficiente, como a provida por um engenheiro de instalação com 20 anos de experiência prática, é sempre recomendável discutir cada documento com o líder da equipe de instalação.

Essa medida costuma assegurar que cada detalhe pode ser bem entendido. Quando isto ocorre, é mais provável que cada aspecto entendido possa ser assimilado por todos os componentes da equipe de campo, no local da obra. Os detalhes não entendidos ou duvidosos deverão ser retocados para que fiquem tão claros quanto os demais.

Com relação aos documentos administrativos, eles servirão como referência para as equipes de campo. Por exemplo, quando as previsões dos prazos indicados no cronograma são boas, eles serão como uma ampolheta para as equipes em campo. E as tarefas deverão ser realizadas sem atrasos.

Qualquer sinal ou indicação de uma simples possibilidade de ocorrência de atraso deve deixar o supervisor em estado de alerta máximo.

Em princípio, pequenos desvios podem ser contrabalançados por mudanças discretas no ritmo de trabalho. Mas também poderemos estar detectando problemas de maior envergadura pela frente.

Tais problemas de maiores proporções geralmente são provocados por mudanças de vulto introduzidas no escopo dos serviços, por falhas organizacionais, particularmente na área de suprimentos, ou até mesmo por falta de cumprimento de atividades de responsabilidade do cliente.

Para que situações como essas não fiquem sem controle, é possível usar uma sistemática de apontamentos, o que é discutido no item 10.4.3.

Documentos utilizados em obras acabam ficando rapidamente sujos, por vezes rasgados e até inutilizados. Assim, é indispensável que se tenha sempre um jogo completo de originais à mão, dos quais se possa reproduzir outras cópias quase que de um momento para outro.

Também é preciso atualizar documentos em campo, sempre que for o caso. A equipe técnica deve prover todos os novos documentos, substituindo e cancelando os anteriores, que foram substituídos.

Finalmente, todos os documentos utilizados pelas equipes de instalação devem retornar ao

escritório, para elaboração da documentação técnica a ser entregue ao cliente.

As equipes de instalação devem ser instruídas nesse sentido, e também, para que sejam anotadas quaisquer pequenas mudanças e/ou alterações que possam haver.

A maneira mais prática de se fazer isso é através da prática de usar lápis vermelho para anotar cancelamentos, e lápis azul para anotar introduções.

Quando necessário, podem ser feitas anotações adicionais nos próprios documentos, ou separadamente.

10.3.3 Normas e Práticas de Instalação Normas de instalação são documentos internos da empresa instaladora, que visam estabelecer rotinas operacionais em campo. Portanto, para uso dos instaladores. Essas rotinas procuram estabelecer o comportamento das equipes em campo, e dar-lhes informações sobre como proceder diante de casos corriqueiros.

Elas contêm regras da empresa quanto a horários, folgas, horas extras, uniformes, EPI, identificação de funcionários, uso e conservação de veículos, de ferramentas, de acessórios e de instrumentos, e assim por diante.

As práticas de instalação são documentos que mostram os padrões de qualidade da empresa, e o que é esperado das equipes em campo. Creio que isto ficará bem mais claro com um exemplo. A Cysne Sound Engineering dispõe das seguintes práticas de instalação, para suas equipes de campo: **SÉRIE INSTALAÇÃO**

DPR - 001/86 Técnicas de Instalação DPR - 002/86 Técnicas de Soldagem DPR - 003/86 Técnicas de Crimpagem DPR - 004/86 Técnicas de “Wire Wrap”

DPR - 005/86 Técnicas de Deslocamento de Isolação (IDT) DPR - 006/86 Parafusos e Utilização DPR - 007/86 Preparação e Terminação de Cabos DPR - 008/86 Instalação de Fios e de Cabos DPR - 009/86 Técnicas de Interconexão DPR - 010/86 Interface com Racks DPR - 011/86 Blocos Terminais DPR - 012/86 Acessórios de Instalação DPR - 013/86 Hardware Miscelâneo DPR - 014/86 CheckList de Instalação DPR - 015/86 Ferramental de Instalação DPR - 016/86 Instrumental de Instalação DPR - 017/86 Testes de Instalação DPR - 018/86 Alinhamento de Sistemas DPR - 019/86 Documentação de Sistemas **SÉRIE INFRAESTRUTURA**

DPR - IE - 001/86 Legendas e Símbolos de Infraestrutura DPR - IE - 002/86 Eletrodutos e Caixas DPR - IE - 003/86 Sistemas de Alimentação CA DPR - IE - 004/86 Aterramento Técnico DPR - IE - 005/86 Terra Técnico Verdadeiro **SÉRIE GERAL**

DPR - G - 001/91 Documentação Técnica e Organização **10.3.4 Ferramentas e Acessórios** Como mencionado anteriormente, um dos objetivos da visita do engenheiro à obra é avaliar que ferramentas e acessórios serão utilizados.

Provavelmente o melhor a fazer aqui é inspecionar detalhadamente todos os locais nos quais haverá desenvolvimento de serviços, e comparar as necessidades verificadas contra listas pré elaboradas de ferramentas e de acessórios.

Simplesmente levar uma caixa de ferramentas, por mais completa que possa ser, é geralmente insuficiente.

Assim, a qualidade dessa verificação vai depender bastante da qualidade das listas pré elaboradas. Há diversos acessórios que muitas vezes não são lembrados.

Independentemente de quaisquer outras coisas, a experiência mostra que o melhor mesmo é estar sempre prevenido com ferramentas e acessórios.

As listas pré elaboradas podem ser baseadas nas relações apresentadas nos itens 10.3.4.1 e 10.3.4.2, a seguir.

10.3.4.1 Ferramentas • alicates de todos os tipos (corte diagonal, bico longo, bico fino, bico chato, universal, etc.) • chaves de fenda de vários tamanhos, inclusive coto • chaves Philips de vários tamanhos, inclusive coto • jogos de chaves fixas, estrela, canhão e combinadas • jogos de chaves especiais (allen, fenda relojoeiro, etc.) • limas

- furadeiras, punções, brocas de vídea, de aço rápido, de aço carbono, serras copo e vazadores diversos • ferros de soldar, estações de solda, ponteiros sobressalentes, suportes, solda e extrator de solda • descascador automático de cabos • ferramentas de crimpagem • chaves inglesas

- martelos

- arcos de serra e serras reserva • grosas

- estiletes com lâminas reserva • almotolias

- parafusadeiras elétricas e jogos variados de ponteiros • rebitadeiras e rebites diversos

- máquinas de tiros, finca pinos e espoletas • grampeadores de tapeceiro e grampos •

caixas de ferramentas e cadeados 10.3.4.2 Acessórios

- metros e trenas

- lanternas e lâmpadas miniaturizadas sobressalentes • aspiradores de pó portáteis • pilhas e baterias, inclusive para instrumentos portáteis • lâmpadas com protetores de bulbo e lâmpadas sobressalentes • extensões elétricas

- réguas de tomadas elétricas • fitas de nylon para puxamento de cabos • tesouras

- pinças

- magnetizadores/desmagnetizadores de chaves • transformadores 110/220 VCA, 500, 1.000, 2.000 e 5.000 watts • bisnagas de silicone • máquina para aplicação manual de silicone • fitas isolantes de todas as cores • fitas crepe

- pincéis para limpeza e escova de dente com cerdas duras • níveis e fios de prumo • lupas
- réguas e compassos
- espelhos para inspeção • lápis de marceneiro
- espaguete térmico
- marretas e talhadeiras • colas, lixas e diversos • material de marcenaria (grampos C, serrotes, serras tico-tico, plainas, esquadros de marceneiro, formões, lixas para madeira, etc.) • material de serralheria (dobradores, ferramentas nibling, morsas, perfilados, lixas para ferro, etc.) • material de pintura (tintas, solventes, pincéis, rolos, espátulas, etc.) • equipamento de comunicação por rádio (walk-talkies) • assortmento de cabos com todos os tipos de conectores • adaptadores para todos os tipos de conectores • adaptadores CA baioneta/2 pinos/3 pinos • gabaritos diversos

10.3.5 Instrumental Tudo o que foi dito anteriormente para as ferramentas e acessórios é aplicável aos instrumentos utilizados nas instalações. E a lista pré elaborada neste caso é: • ponte de impedâncias • oscilador de áudio

- gerador de ruídos (branco e rosa) • medidor de nível de pressão sonora e calibrador • analisador de espectro de tempo real de 1/3 ou 1/10 de oitava • osciloscópio de 20 MHz, ou mais, duplo traço • multitestadores
 - testadores de continuidade, de preferência com sinalização acústica • testadores de cabo (com assortmento de conectores e adaptadores) • testadores de tomadas CA de 3 pinos • sintonizador de FM para geração de sinais de testes • amplificador de teste • caixas acústicas de teste • assortmento de resistores de carga (diversos valores ôhmicos e dissipações)
- 10.3.6 Material de Instalação Independentemente dos materiais de instalação terem ou não sido previstos anteriormente, pouco antes da instalação a empresa instaladora deverá fazer ou refazer essa previsão.

Para iniciá-la, muitos acreditam que o melhor é ter em mãos o diagrama de blocos do sistema. Assim, todos os conectores que interligam os aparelhos podem ser contados e qualificados. Também é possível que se tenha uma noção global do sistema, e com isso avaliar a necessidade de suportes, elementos de fixação, necessidade de marcadores de cabos, e itens semelhantes.

Quando o diagrama de blocos não indica o uso de conectores para casos específicos, como nas interligações de caixas acústicas e de caixas de distribuição, o melhor é consultar os procedimentos de praxe da empresa, e em último caso, a equipe técnica.

Geralmente os materiais de instalação já são previstos nos projetos de grandes sistemas. O

que não é comum em projetos de sistemas menores, e principalmente quando não há projetos.

Os materiais de instalação também podem ser previstos pelas equipes de instalação, o que é feito com base em suas experiências.

Exemplos desses materiais:

- borneiras de parafusos • conectores de emenda • conectores de derivação • conectores de crimpagem de todos os tipos e de todas as bitolas • conectores RCA
- plugues e jaques de 6,4 mm, tipo PAM e PM
- conectores XLR (macho e fêmea, de linha e de painel) • conectores Speakon e Hubbel • fusíveis
- cabos jacaré para jacaré, em diversas cores e tamanhos • assortmento de pregos, parafusos, porcas, arruelas e ferragens em geral

10.4 RECURSOS EM CAMPO

10.4.1 Mão de Obra Especializada Recomendo que seja elaborado um formulário par a uso do engenheiro durante sua visita ao local de instalação, com vários itens.

Um desses diz respeito à mão de obra. E com relação a ela, os dados a anotar são: quantas pessoas são necessárias, quais suas especialidades, e por quanto tempo cada uma delas deverá permanecer na obra.

10.4.2 Organização

- preparação do local para a armazenagem dos equipamentos e materiais • idem para ferramentas, acessórios e instrumentos • procedimento para descarte de embalagens • organização dos materiais de instalação (ferragens, conectores, diversos) • montar oficina (bancada, energia, etc.)
- 10.4.3 Apontamentos Uma das maneiras de metodizar a forma de fazer apontamentos em campo é manter um log book na obra, no qual são feitos apontamentos diários sobre o andamento dos serviços.

Quaisquer anomalias, irregularidades, imprevistos, e eventos que possam concorrer para produzir atrasos, ainda que apenas potencialmente, devem ser anotados de forma mais detalhada.

Recomendo que ao final de cada jornada de trabalho se peça ao cliente, seu representante ou preposto, que assine os apontamentos do log book, de sorte a confirmar que naquele dia estava ciente dos apontamentos feitos.

Isso ajuda a estabelecer as responsabilidades de maneira justa, evitando eventuais problemas futuros. Naturalmente, para que os resultados desejados sejam produzidos é preciso que a empresa instaladora e o cliente tenham feito tratativas comerciais prévias, imaginando a possibilidade de tais ocorrências.

Outro documento que deve sofrer atualização contínua é o cronograma. Qualquer cronograma de trabalho deve possuir ao menos dois campos, com simbolização gráfica. Um no qual é feita a previsão de andamento dos trabalhos, e outro, no qual são feitos os apontamentos de progresso.

Idealmente, a atualização do cronograma é feita diariamente. Esta peça deve ser estar fixada em local bem visível na obra, para que a empresa instaladora e o cliente possam estar sempre cientes do andamento dos serviços.

Dependendo da empresa instaladora, outros apontamentos poderão ser úteis.

10.5 DESENVOLVIMENTO DOS SERVIÇOS EM CAMPO

Os serviços de instalação podem ser divididos em fases, que correspondem a maneiras distintas de execução.

Para efeito de planejamento desses serviços é sempre útil proceder à divisão de tarefas, já que isso facilita consideravelmente o estabelecimento das respectivas ordens de execução, de sorte que a sequência resulte tecnicamente conveniente e lógica. O objetivo último é reduzir o prazo global ao mínimo possível.

A divisão clássica dos serviços leva a nova fase, como discutido a seguir.

10.5.1 Primeira Fase - Na Oficina da Empresa Instaladora Quando ponderamos sobre a realização dos serviços em campo, e a realização desses mesmos serviços nas oficinas da empresa instaladora, podemos tirar algumas conclusões.

Comparados os prós e os contras, podemos facilmente ver que trabalhar em oficinas próprias oferece as seguintes vantagens, entre outras:

- menor custo hora de qualquer dos empregados envolvidos nos serviços
- maior rapidez e facilidade para dirimir eventuais dúvidas sobre o que deve ser feito
- mais chances de que recursos essenciais e secundários estejam disponíveis
- menores riscos de extravio ou danos provocados a equipamentos e materiais

Portanto, realizar serviços em oficinas próprias é uma regra sempre seguida pelas maiores instaladoras de sistemas eletroacústicos do mundo.

Desse modo, antes de darmos início a qualquer instalação, é sempre interessante que relacionemos quais dentre os serviços daquele caso particular podem ser realizados em oficinas próprias.

Com base na experiência da Cysne Sound Engineering, apresento a seguir os serviços que costumam constituir a primeira fase, e portanto executados em oficinas próprias:

- montagem completa de racks, incluindo fixações mecânicas de aparelhos, confecção de cabos de interligação (corte, marcação e soldagem de conectores), interligação de aparelhos, ligação

dos aparelhos às régua de tomadas CA, aterramento dos aparelhos e confecção do aterramento dos racks, instalação de acessórios e complementos nos racks, arranjos e amarração das cabeações, e testes gerais • confecção de cabos de ligação entre consoles e racks (corte de cabos, marcações e soldagem de conectores) e testes • confecção de caixas de microfones, inclusive designação e numeração dos microfones com tarjas e etiquetas, e testes • confecção de todos os dispositivos e suportes de fixação, inclusive acabamento • confecção de caixas acústicas, medições e testes • confecção de campos de jaques, jumpers e testes • confecção de espelhos com conectores para microfones e direct boxes, para ligação de caixas acústicas, inclusive designação e numeração dos microfones com tarjas e etiquetas, e testes • confecção de quaisquer itens customizados

10.5.2 Segunda Fase - Passagem de Cabos e Engenharia de Cabos em Campo

A segunda fase já é realizada em campo, e corresponde à passagem de todos os cabos pelos eletrodutos, seguindo-se as identificações de todos os cabos de acordo com a documentação.

Para que esse trabalho seja desempenhado com o máximo de qualidade e eficácia e, ainda, no menor tempo praticável, é fundamental que as equipes de instalação dominem tudo o que se refere à Engenharia de Cabos em Campo.

Assunto que passo a abordar a seguir.

10.5.2.1 Engenharia de Cabos em Campo

Chama-se Engenharia de Cabos em Campo ao conjunto das medidas que tem por finalidade:

- racionalizar os serviços de corte de cabos em campo
- possibilitar a organização de guarda dos cabos tanto antes quanto depois do corte
- facilitar a passagem dos cabos pela infraestrutura por meio da aplicação de técnicas corretas de lançamento dos cabos
- evitar que os cabos fiquem empoeirados por força de contato físico e/ou arrasto por atritos com sujeiras e detritos típicos de obras
- facilitar a identificação dos cabos, sua rotulagem e testes finais
- evitar que os serviços já concluídos sejam avariados ou arruinados por quaisquer outras atividades da obra

Raramente os cabos são entregues na obra nas quantidades calculadas com base nos comprimentos reais dos eletrodutos/eletrocalhas pelos quais serão passados. Com efeito, quase que invariavelmente os comprimentos dos cabos são estimados e entregues em campo com margens típicas de 10% a 20% do comprimento, de cada tipo. A ideia da margem é evitar falta de material em campo, o que na maioria das vezes é percebido pelo cliente como sinal de desorganização e aumenta os custos de modo desnecessário.

É comum para quase todas as empresas instaladoras de sistemas de som profissional ter que fazer fornecimentos adicionais de cabos com base em solicitações de instaladores. Usualmente, tais procedimentos transcorrem sem muito controle das quantidades consumidas.

Portanto, a empresa se torna refém da falta de controle gastando mais cabo do que é preciso e incidindo em custos mais elevados. Quer pelos cabos adicionais, quer pelo processo administrativo das recompras e, também, pelo tempo perdido na obra à espera dos cabos.

Uma das principais colunas de sustentação da engenharia de cabos em campo são as atividades de planejamento, de organização e de controle.

O planejamento começa na etapa de projeto. Mais especificamente, com a designação de cada um dos cabos empregados em cada sistema. Essa prática permite relacionar cada cabo individualmente com todas as informações correspondentes ao mesmo, como tipo de cabo, cor do cabo, como se quer etiquetar sua identificação, comprimento físico, conectorizações, pinagens e terminações nas duas extremidades, *etc.*

A provável melhor forma de documentar essas informações é usando tabelas. Como a da tabela 10.1.

tabela 10.1

CABOS DE MICROFONES VP							
CABO	TIPO	COR	ETIQUETA	COMPRIMENTO	CONECTORES	PINAGEM	TERMINAÇÕES
M1	2P+T	preta	padrão D	56,0m	XLRMC / XLRFC	1T 2H 3N	PAINEL/1,6m
M2	2P+T	preta	padrão D	55,0m	XLRMC / XLRFC	1T 2H 3N	PAINEL/1,6m
M3	2P+T	preta	padrão D	62,0m	XLRMC / XLRFC	1T 2H 3N	PAINEL/1,6m

Quando tabelas assim são elaboradas em projeto os comprimentos ainda são estimados. Para que essa informação tenha referência, pode-se referenciar a tabela. Eis a razão de ser do termo “VP” após o título “CABOS DE MICROFONES”, na primeira linha da tabela. VP é acrônimo para “Versão de Projeto”.

Posteriormente, esses números podem ser ajustados para os valores reais, medidos, e a referência VP é substituída por outra, a VM, acrônimo para “Versão Medida”. Também é possível construir a tabela com duas colunas. Por exemplo, dividindo a coluna “COMPRIMENTO” em duas colunas, ficando a da esquerda para as figuras estimadas e a da direita para a colocação posterior dos comprimentos finais.

A coluna “TERMINAÇÕES” informa que as extremidades de início dos cabos têm conectores montados em painéis e que as extremidades de final devem ter comprimento, além da caixa, de 1,6 metro.

O planejamento prossegue com uma série de instruções que devem ser passadas por escrito para as equipes de instalação. Quanto são essas instruções é algo que depende da natureza do projeto, de como as equipes de instalação executam os serviços, de seu preparo e capacitação, de que critérios e padrões se valem as empresas que efetuam a gerência da obra, da complexidade dos serviços a executar, *etc.*

Faz parte do planejamento da gerência de cabos especificar, ainda na fase de projeto, os cabos não só quantitativa, mas também qualitativamente. Essas informações constituem a base

para especificar os comprimentos dos cabos de cada bobina. Naturalmente, sem cortes. Essa medida simples pode eliminar grande desperdício de cabos, que por vezes se aproxima de patamares inaceitáveis. Veja um exemplo disso.

Suponha que num certo sistema haja sessenta lances de cabo, todos com comprimento de 52,0 metros. Incluindo as margens para conectorização nas duas extremidades. Suponha também que esse dado não tenha sido incluído no projeto e quem cuidou da compra dos cabos adquiriu grande quantidade, mas tudo na forma de rolos de 100 metros. Você já começou a perceber o drama. Que se forem tirados 52,0 metros de cabo de cada rolo de 100,0 metros haverá uma sobra de 48,0 metros de cada rolo. Evidentemente as equipes de instalação tentarão “utilizar” essas sobras. Quando isso ocorre, as tentativas geralmente são desorganizadas e não seguem nenhum critério racional. O que acarreta grandes quantidades de sobras.

Como evitar essa situação?

Pense que no caso do exemplo acima os projetistas tenham especificados bobinas de 500,0 metros desse mesmo cabo. Uma instrução é dada para as equipes de instalação que esses 500,0 metros devem ser cortados em 9 (nove) segmentos de 52,0 metros, totalizando 468,0 metros. Restando saldo de 32,0 metros. Outra instrução pode informar às equipes de instalação que essa “sobra” pode ser fracionada em 5 segmentos de 4,0 metros cada um, mais 3 segmentos de 4,0 metros cada um. Esses 8 segmentos terão conectorização de cabos de ligação dos microfones nos respectivos painéis. Portanto, conectores XLRM3 de cabo para XLRF3 de cabo. E nenhum desperdício terá sido praticado.

Uma das instruções sempre convenientes para ser preparada e passada para as equipes de instalação é inspecionar a construção da infraestrutura, cuja referência única é o projeto. Ou seja, uma equipe de instalação, ou grupo especializado na tarefa de inspecionar infraestruturas, vai verificar inicialmente se toda a infraestrutura foi executada. Depois, se ela foi executada estritamente conforme projeto. Cada detalhe deve ser checado. Recomendo que sem aprovação dessa equipe os serviços de instalação não sejam iniciados. Muitas vezes é preciso prever essa circunstância na proposta ou no projeto. Ao menos se a construção da infraestrutura for de responsabilidade do cliente.

Por ocasião dessa inspeção os lances das infraestruturas podem ser medidas com passacabos graduados ou não. Por sinal, essa atividade também assegura que não há lances obstruídos, coisa comum em obra.

Uma outra instrução importante para as equipes de instalação diz respeito tanto ao planejamento quanto à organização. Trata-se de como os cabos devem ser passados pelos eletrodutos. Para tanto, as ferramentas mais importantes nesse contexto são os carreteis para

cabos, os racks para carretéis e os contadores de cabos.

Há vários tipos de carretéis para cabos. São tamanhos diferentes, larguras variadas, *etc.* Há modelos autoportantes para piso, com suportes de desenhos variados, assim como há modelos próprios para racks, usualmente na forma de carretéis muito simples, sem quaisquer acessórios. Alguns carretéis possuem um dispositivo que permite aumentar o diâmetro interno do miolo do carretel, o que se faz com o objetivo de manter o cabo ligeiramente tensionado no carretel. A figura 10.1 mostra alguns modelos de carretéis de cabos



figura 10.1 carretéis para cabos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os racks para carretéis de cabos são usados para preparar uma puxada de cabos na qual são utilizados vários carretéis simultaneamente. A figura 10.2 exhibe diferentes modelos de racks para carretéis de cabos. Mas note que alguns cabos possuem compartimentos duplos e até com mais divisões. Eles são usados em pequenas instalações quando, então, é possível dispensar os racks para carretéis.



figura 10.2 racks contendo alguns carretéis para cabos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os contadores de cabos têm a função de medir o comprimento de qualquer segmento de cabo desejado. Existem modelos de mesa, mais precisos, e modelos portáteis, muito úteis para atividades em campo. A figura 10.3 mostra alguns contadores de cabos, sendo que os dois da esquerda são modelos portáteis, próprios para obra e o da direita é um tipo profissional, próprio para mesa. Esses modelos podem ser combinados com carretéis dispostos horizontalmente na mesa, com a finalidade de contar o cabo e guarda-lo já com o comprimento certo.



figura 10.3 contadores de cabos portáteis e profissionais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isso posto, vejamos especificamente como os cabos podem ser passados com planejamento prévio e organização. Para isso, vamos nos valer de 4 situações que representam a grande maioria dos casos. Atenção para a figura 10.4.

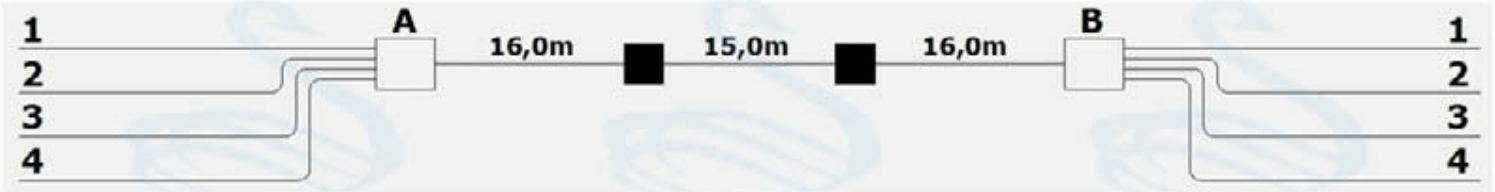


figura 10.4 esquema de eletrodutos com duas caixas infraestruturais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essa figura exhibe duas caixas infraestruturais que designei A e B, que aparecem ligadas entre si por um eletroduto e duas caixas de passagem, indicadas no desenho na cor preta. Também foram indicados no desenho as distâncias reais entre as caixas infraestruturais. As margens para fora das caixas desejadas são o que mostra a tabela 10.2.

tabela 10.2

CABO	LADO A	LADO B	COMPRIMENTO TOTAL
U1	2,0m	2,0m	51,0m
U2	5,0m	3,0m	55,0m
U3	1,0m	6,0m	54,0m
U4	8,0m	10,0m	65,0m

A tabela também relaciona o comprimento total de cada cabo, o que está na figura da direita.

Um dos documentos importantes que se elabora no projeto executivo é a tabela de compra de cabos. Esse documento deve prever, como antecipado há pouco, e por tipo de cabo, quantas bobinas devem ser adquiridas de cada tipo de cabo e com que comprimentos.

Vamos a um exemplo. Imagine que a bobina 1 é de cabos UTP com comprimento de 500 metros. Se pretende que essa bobina dê origem aos cabos U1 a U9. A parte da tabela de compras que inclui essa bobina 1 seria como na tabela 10.3: tabela 10.3

BOBINA 1 – CABO UTP	
CABO	COMPRIMENTO (m)
U1	51,0
U2	55,0
U3	54,0
U4	65,0
U5	83,0
U6	51,0
U7	60,0
U8	54,0
U9	57,0
TOTAL	500,0

A próxima informação é a do corte dos cabos. Que, naturalmente, devem resultar em segmentos com os comprimentos especificados e ajustados para os valores medidos. Após o

que, os cabos podem ser passados ou guardados em carretais. No caso dessa figura, em carreteis para uso em racks.

O projeto deve especificar o sentido de passagem dos cabos. Isto é, se da direita para a esquerda ou vice-versa. Vejamos então como um projeto pode antecipar a passagem dos cabos U1, U2, U3 e U4. O projetista especificou o sentido de A para B. O mais importante de tudo é a especificação do “encabeçamento” do grupo de cabos, que é o que mostra a figura 10.5.

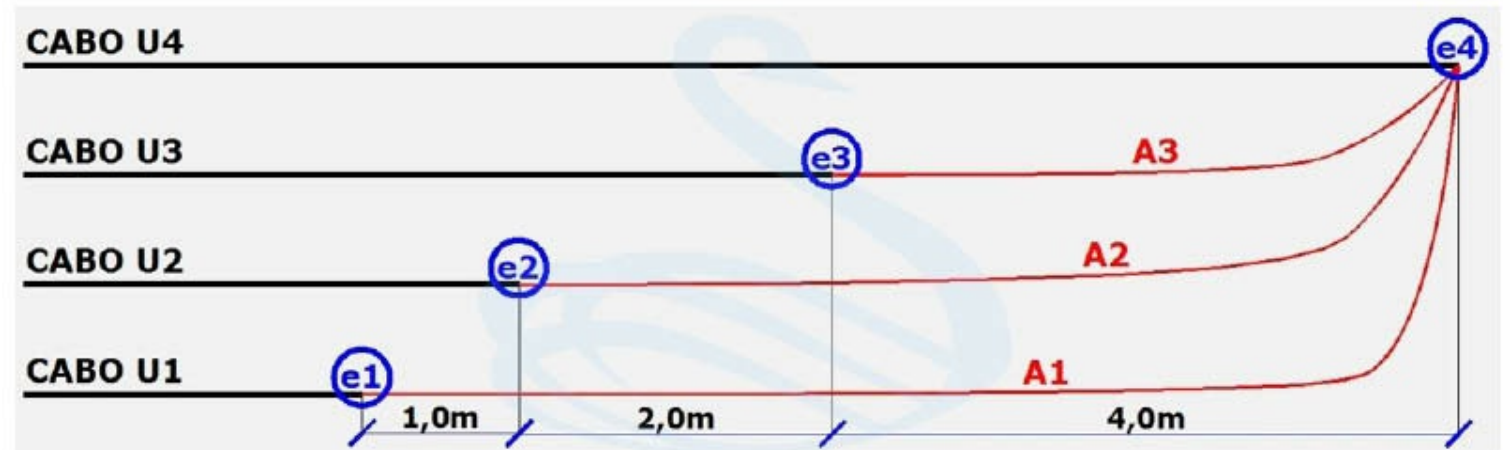


figura 10.5 esquema elaborado para orientar o corte de cabos nos tamanhos adequados acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os círculos “e1” a “e4” indicam as emendas do encabeçamento para os cabos U1 a U4, respectivamente.

O cabo U4 é encabeçado diretamente no gancho do passa cabos juntamente com os arames de aço A1, A2 e A3, cujos comprimentos líquidos são 7,0 metros, 6,0 metros e 4,0 metros, respectivamente. O arame A3 será usado para o encabeçamento auxiliar do cabo U3. O arame A2 será usado para encabeçar de forma auxiliar o cabo U2 e o arame A1 será empregado no encabeçamento auxiliar do cabo U1.

Veja na figura 5 que esses arames estão indicados com traços vermelhos de espessura intermediária. O encabeçamento final fica como na figura 10.6.

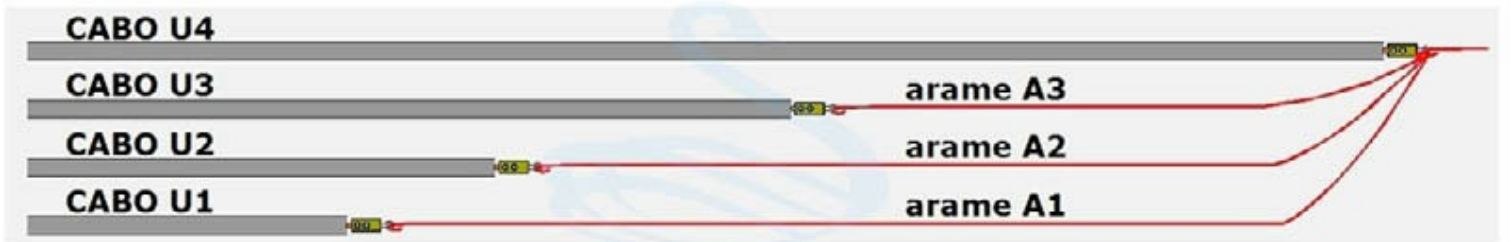


figura 10.6 encabeçamento típico de cabos organizados conforme práticas de engenharia de cabos em campo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O documento de projeto deve especificar como as emendas serão feitas. O ponto crítico da emenda é como o cabo, ou cabos, serão mecanicamente fixados no passa cabos. Para tanto, há uma grande quantidade de acessórios, como sugere a figura 10.7.



figura 10.7 acessórios disponíveis para facilitar as emendas de cabos antes do puxamento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 10.7.1 é um líder de puxamento com 6 elos, fabricado pela Klein Tools. 10.7.2 é um líder de puxamento com 5 pernas terminadas em cilindros de pressão para os cabos, fabricação Cerro Wires LLC. 10.7.3 é uma camisa de puxamento da Greenlee, modelo CLSED MESH PULL 33-01-011 GRIP com capacidade para 1.120 libras. 10.7.4 é um kit de puxamento, também da Greenlee, modelo 629, com terminais clévis. 10.7.5 é puxador unitário elementar de pressão, novamente da Greenlee, agora o modelo 504. A figura 10.7.6 é uma camisa de puxamento usual, ainda da Greenlee, modelo GRIP CAT 3. A figura 10.7.7 é um kit Kellems com terminação clévis da Greenlee, modelo 578. 10.7.8 é um conjunto de ferramentas de puxamento Greenlee, na qual se vê o cabo sendo puxado. A figura 10.7.9 mostra um lubrificante gel para puxamento de cabos da Greenlee. 10.7.10 é um conjunto de lubrificantes gel para puxamento de cabos da Greenlee e, finalmente, a figura 10.7.11 é o kit de puxamento de cabos com terminais clévis, da Greenlee, modelo 624.

Note que há produtos específicos para a lubrificação dos cabos. Isso nem sempre é necessário. Mas, muitas vezes há micro obstáculos no interior da infraestrutura, o que aumenta o atrito entre os cabos sendo puxados e as superfícies internas dos eletrodutos. Dependendo da gravidade dessa situação, os cabos podem ser rompidos. A solução para essas situações pode estar nos lubrificantes. Os das figuras 10.7.9 e 10.7.10 são produtos de muita qualidade, que emprego há décadas. Eles não atacam as jaquetas do cabo e podem ser retirados com muita facilidade, uma vez puxados os cabos. Alternativamente pode-se utilizar silicone de boa qualidade, cera líquida com pH neutro e até mesmo vaselina líquida e neutra.

De resto, estude um pouco como se pode fazer as emendas utilizando essas ferramentas especializadas. Garanto que valerá a pena. Mesmo se você não é instalador ou não tem nada a ver com isso.

Fiz questão de mencionar alguns nomes de fabricantes dessas ferramentas, porque os interessados poderão aprofundar pesquisas nos sites correspondentes.

Mas também é possível fazer as emendas apenas passando os cabos pelos ganchos dos puxa cabos (ou dos arames extensores), torcendo-os algumas vezes até se obter a resistência necessária para o puxamento. Proteger essa emenda com poucas voltas de fita isolante ajuda a aumentar a resistência, a manter a integridade física do conjunto e, ainda, reduz um pouco o atrito durante o puxamento.

Com esta forma de preparação e já com os quatro carretéis de cabos montados num rack já é possível começar o puxamento.

A extremidade livre o passa cabos é inserida no eletroduto pela caixa A e é enfiado até que sua extremidade apareça na caixa B. Nesse momento começa a puxada dos cabos. Alguém na caixa B puxa os cabos em quanto outro instalador alimenta a puxada na caixa A, conduzindo o cabo no sentido do puxamento. Nesse sentido, alimentar significa facilitar a puxada. Ou seja, o cabo imediatamente antes da caixa A deve ser mantido o máximo possível no alinhamento do eletroduto.

O primeiro cabo a surgir na caixa B será o cabo U4. Usando uma trena de 15 ou 25 metros os cabos devem ser puxados até que o cabo U4 ultrapasse a caixa B em 10,0 metros.

A puxada está completa. As emendas de puxamento podem ser desfeitas e todos os cabos devem ser submetidos a limpeza. Tanto de lubrificantes quanto de detritos da infraestrutura que podem aderir com facilidades aos cabos. Além disso, devem ser removidos todos e quaisquer traços de adesivos de fitas isolantes eventualmente utilizadas.

Depois de limpos os cabos devem ser identificados e etiquetados nas duas extremidades, conforme previsto em projeto. Não é recomendável fazer etiquetas provisórias. Elas são facilmente perdidas e, na prática, são de leitura muito difícil. Muitas vezes exigindo repetição do trabalho de identificação. Apenas que sendo as etiquetas as versões definitivas, os cabos devem ser protegidos adequadamente. O que, por sinal, é sempre uma boa prática.

Para dar o serviço por concluído, deve-se fazer a conectorização dos dois lados do cabo e, em seguida os testes individuais necessários. Numa primeira etapa, com testadores econômicos, que apenas vão indicar continuidade e ausência de curtos. Como esses são cabos UTP, posteriormente será preciso evoluir dos testes iniciais para a certificação, só possível com instrumentos especiais e, agora, muito caros. Esse assunto é tratado em outro lugar deste trabalho.

Nosso segundo exemplo é o da figura 10.8

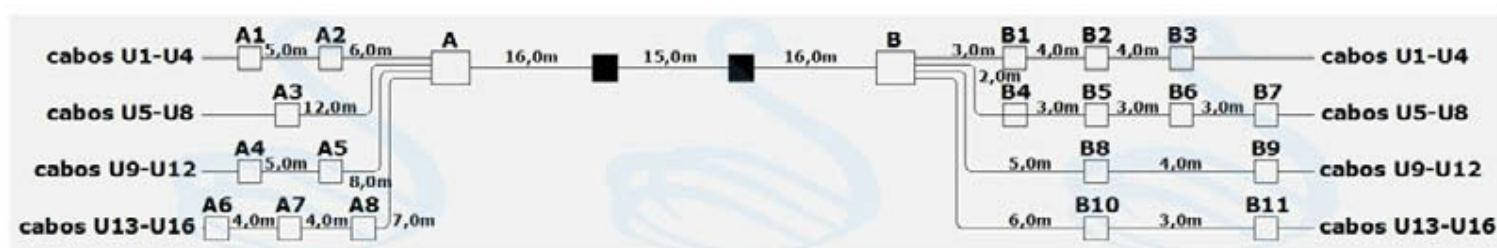


figura 10.8 esquema com origem e destino de 16 cabos passados por um total de 23 caixas infraestruturais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Agora são 16 cabos, todos UTPs. Antes da caixa infraestrutura A estão 8 caixas, também infraestruturais, mas auxiliares, designadas A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 e A8. Depois da caixa B estão 11 caixas auxiliares, designadas B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10 e B11.

Os cabos U1 a U4 iniciam na caixa A1. Os cabos U5 a U8 iniciam na caixa A3, os cabos U9 a U12 iniciam na caixa A4 e os cabos U13 a U16 iniciam na caixa A6.

Entre as caixas A e B há duas caixas de passagem indicadas no desenho na cor preta.

A tabela 10.4 de margem de sobra de cabos nas duas extremidades é: tabela 10.4

CABO	LADO A	LADO B	COMPRIMENTO TOTAL
U1	3,0m	3,0m	75,0m
U2	2,0m	3,0m	74,0m
U3	4,0m	5,0m	78,0m
U4	1,0m	2,0m	72,0m
U5	3,0m	2,0m	75,0m
U6	3,0m	4,0m	77,0m
U7	4,0m	2,0m	76,0m
U8	6,0m	1,0m	77,0m
U9	3,0m	5,0m	77,0m
U10	4,0m	3,0m	76,0m
U11	2,0m	6,0m	77,0m
U12	5,0m	2,0m	76,0m
U13	3,0m	1,0m	75,0m
U14	4,0m	6,0m	81,0m
U15	5,0m	2,0m	78,0m
U16	3,0m	3,0m	77,0m

O procedimento para corte dos cabos é semelhante ao que discutimos no exemplo anterior. Desta vez serão necessários 16 carreteis para os cabos além de 4 racks pequenos, cada um desses para no mínimo 4 carreteis.

Inicialmente serão feitos 4 encabeçamentos de cabos. Um dos cabos U1a U4. Outro dos cabos U5 a U8, outro dos cabos U9 a U12 e o último para os cabos U13 a U16.

Em todos eles os procedimentos são como vimos anteriormente, inclusive com as ilustrações das figuras 5, 6 e 7.

Só que agora as distâncias dos encabeçamentos não são como nas figuras anteriores. Deixo como exercício para você determinar essas distâncias, o que pode ser feito a partir das informações da figura 8.

Os cabos U1 a U4 são puxados da caixa A1 até a caixa A. A seguir são puxados os cabos U5 a U8 da caixa A3, também até a caixa A. Depois são puxados os cabos U9 a U12 da caixa A4 até a caixa A e, finalmente, são puxados os cabos U13 a U16 da caixa A6 até a caixa A.

Nesse ponto haverá 4 passa cabos na caixa A com os 16 cabos atrelados a eles. Uma das técnicas mais utilizadas nesses casos é agrupar os 4 passa cabos num único passa cabos de

mais capacidade, como sugere a figura 10.9. Isso facilita a puxada dos 4 passa cabos menores da caixa A até a primeira caixa de passagem. Prosseguindo até a segunda caixa de passagem e, depois, para a caixa B. Nesse momento o passa cabos maior é retirado pois ele não será mais utilizado.



figura 10.9 gancho de passa cabos preparado para o puxamento de 4 passa cabos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O passa cabos com os cabos U1 a U4 é encaminhado pelo eletroduto da caixa B que segue para a caixa B3. O passa cabos com os cabos U5 a U8 é encaminhado pela caixa B até a caixa B7, e assim por diante.

Uma das coisas que pode ocorrer é que nem todos os cabos de um mesmo grupo terminem na mesma caixa. Por exemplo, imagine que os cabos U1, U2, U3 e U4 não terminassem todos na caixa B3. Mas que U1 e U2 terminassem na caixa B1 e só U3 e U4 terminassem na caixa B3. Nesse caso, o encabeçamento de U1 a U4 é feito com o auxílio de um arame de aço extensor, como vimos anteriormente.

Então, quando os cabos U1 e U2 surgem na caixa B1 eles são retirados nesse mesmo ponto. Para tanto, basta cortar os arames auxiliares que os tracionaram até esse ponto. A puxada continua de forma que U3 e U4 são puxados pelo passa cabos a partir de B2 e, simultaneamente, U1 e U2 são puxados manualmente por fora da caixa B1, até que as margens de sobra atinjam os valores de projeto. Se for preciso, é só continuar o puxamento de U3 e U4 até que as respectivas margens tenham sido obtidas na caixa B3.

Os cabos U5 a U16 são puxados usando-se o mesmo procedimento utilizado para o puxamento de U1 a U4.

Na prática podem surgir casos consideravelmente mais complexos do que esses que vimos nos dois exemplos acima. Entretanto, a aplicação das técnicas analisadas quebra as dificuldades de quaisquer casos, que acabam sendo reduzidos a casos mais simples. Estratégia

essa que recomendo para casos de quaisquer graus e níveis de complexidade.

Outrossim, como o advento dos sistemas ASE e protocolos como o Dante, surge a possibilidade de uma simplificação progressiva de toda a infraestrutura e do cabeamento de sistemas de pequeno, médio e grande portes. Essa simplificação também tem sido a consequência do uso de caixas acústicas ativas, o que dispensa o uso de cabos de interligação dos amplificadores até os falantes. No caso de protocolos ASE, sem a contrapartida de uso de cabos de linha portanto sinais para os amplificadores das caixas, uma vez que os sinais são carreados por cabos de rede.

O barateamento indefectível dos interfaces ASE e Dante permite antever que essa simplificação eliminará em futuro muito breve toda a complexidade infraestrutural dos sistemas de reforço de quaisquer tipos, inclusive aqueles que utilizam milhares de pontos de som, 10.5.3 Terceira Fase - Montagem Mecânica I Esta fase inclui a instalação de todo e qualquer equipamento que não seja considerado equipamento central, e também, daqueles que não sejam instalados em racks.

Entre esses itens, os seguintes podem ser citados: • falantes

- caixas acústicas
- caixas de microfones • ferragens de fixação • espelhos em caixas de microfones e/ou de caixas acústicas • pontos de comutação
- estações de intercomunicação • splitters de microfones • fontes de energia CC eventualmente necessárias para controle ou energização • sensores
- outros

10.5.4 Quarta Fase - Montagem Mecânica II Nesta fase são instalados os racks e os equipamentos centrais.

Algumas vezes os racks com seus aparelhos tornam-se muito pesados até mesmo para efeito de transporte e movimentação.

Nesses casos, o melhor mesmo é, imediatamente após sua montagem e testes na oficina, desmontar e reembalar os aparelhos, que posteriormente são transportados para a obra juntamente com os racks.

Durante a quarta fase os aparelhos são remontados e os testes refeitos, mas agora em campo.

Sempre que se queira, os racks deverão ser montados de modo que estejam rigidamente fixados no piso. Isso nem sempre é possível ou desejado.

Para racks não fixos, geralmente apoiados sobre rodízios, os grupos de cabos deverão possuir comprimento suficiente para permitir a movimentação dos racks.

Em geral os cabos saem e entram dos racks pela parte inferior.

E os lances expostos vez por outra serão arrastados, e portanto sofrem os efeitos do atrito. Contra o que deverão estar devidamente protegidos.

Esses lances expostos também deverão ser instalados de modo que não ocasionem perigo para pessoas que eventualmente possam transitar pelo local.

10.5.5 Quinta Fase – Confecção de Cabos 10.5.5.1 Introdução

Acredito piamente que ninguém ficará nem um tiquinho surpreso se eu disser que os conectores são, de muito longe, os pontos mais vulneráveis em quaisquer sistemas profissionais de áudio. Acertei?

Uma porque nem sempre o serviço de conectorização é feito como “manda o figurino”. Outra porque, apesar de projetos muito bem elaborados seguidos de serviços de instalação prestados no limite da excelência da qualidade, alguns poucos e quase invisíveis aspectos podem fazer com que, a médio e longo prazos, a confiabilidade dos sistemas caia verticalmente e sem limites.

Porque? Porque os conectores são pouco entendidos na prática e quase nada estudados por profissionais, exceto pelas equipes técnicas e de desenvolvimento dos respectivos fabricantes. Que embora ainda tentem mostrar alguns desses aspectos ao público e aos consumidores, ainda não pouco ouvidos. Provavelmente porque os que mais tentam informar são os que desfrutam melhor reputação no seio do mercado. Assim, a crença na qualidade praticamente blinda os caminhos das informações sérias e abalizadas. Entre esses fabricantes cuja notabilidade é inconteste, estão a Switchcraft, a Neutrik, a Elco, a AMP, a Amphenol, a Lemo, a ITT e tantos outros mais.

Muito bem. No jargão do áudio profissional, quem usa o termo “confecção de cabos” faz referência ao processo de terminação dos cabos em campo. Mais notadamente à conectorização.

Com efeito, uma vez que os cabos tenham sido passados por seus eletrodutos, que tenham sido devidamente identificados e, por fim, testados, chega o momento em que é preciso fazer as conectorizações.

Conectorizar é tarefa das mais simples. Mas conectorizar com pleno conhecimento de causa, sabendo realmente o que está sendo feito em toda a sua profundidade e até que ponto os riscos estão sendo introduzidos, isto é outra questão completamente diferente.

Eis porque não posso falar apenas de conectorização.

Antes disso preciso discutir alguns aspectos que me parecem basilares. O mais importante deles é sobre os conectores. Claro, seus tipos, gêneros e outras classificações de natureza

teórica. Mas imediatamente depois disso devemos discutir os materiais usados na manufatura dos conectores, tenho que lhe mostrar os materiais utilizados nos contatos elétricos e a vulnerabilidade desses componentes. Que decorrem do grau de intimidade física dos contatos e da ação perversa da temperatura.

Mas também precisamos falar da contaminação dos contatos, o que se dá por corrosão por oxidação e por corrosão galvânica, por efeito de maresia, por porosidade dos próprios contatos, por micro fraturas, por vibrações mecânicas, por gradientes térmicos, por desgastes erosivos e por relaxamento mecânico.

Ora, depois de tudo isso temos que abordar as soluções para tantos “problemas”. Então vamos falar de projeto dos conectores e as medidas que estão ao alcance do projetista do sistema profissional de som para driblar tantos adversários. Aí incluídas as limpezas técnicas e as substituições, dentro do programa regular de Manutenção Preventiva.

Neste momento gostaria de compartilhar com você uma coisa com a qual trombo praticamente todos os dias da minha vida. Que é ver como técnicos e engenheiros não sabem soldar. Na maioria das vezes as pessoas apenas encostam dois metais que se pretende soldar e, com ajuda do ferro de soldar, derretem o estanho sobre essa junção metálica que inicialmente é mantida junta por força mecânica.

Por essas razões temos que passar por alguns pontos conceituais. Entre eles as soldas, os materiais usados na sua fabricação, ferros de soldar e todo o seu rico universo para, então falarmos das técnicas de soldagem.

Isto posto passamos a discutir como aplicar na prática tudo isso ao processo de conectorização.

10.5.5.2 Conectores

prólogo

Difícilmente alguém se dá conta de quantas são as diferentes espécies de conectores e quantas unidades de cada espécie são utilizadas num sistema de reforço de som. Mesmo num bem pequeno. Mas, garanto a você, quem fizer as contas vai se surpreender.

É provável que você nem estivesse lendo estas linhas não fosse a extraordinária vulnerabilidade exibida pelos conectores utilizados nos sistemas de som. Estou falando de um componente imprescindível. Até porque eles estabelecem uma conexão mecânica para, através dela, ligar eletricamente dois ou mais condutores elétricos. E com isso possibilitar que um circuito tenha ou não continuidade. Por exemplo, pense na tecla liga/desliga de qualquer aparelho. Inclusive de eletrodomésticos.

Os conectores são formados por muitas partes, como as carcaças, as presilhas, os

dispositivos de alívio de cabos e, naturalmente, os contatos elétricos. Estes últimos são as partes metálicas que estabelecem a união mecânica e, por conseguinte, a continuidade dos circuitos. São exatamente esses contatos elétricos as partes vulneráveis a falhas.

E o que é exatamente uma falha?

Considera-se que um conector apresenta falhas quando o fluxo de sinal é interrompido ou degrada a conexão. Seja permanentemente, seja por atuação intermitente. Do contrário, considera-se que o conector está em bom estado. O que, geralmente, não é o caso.

Depois de um certo período de uso, e dependendo muita das condições do ambiente onde os conectores estão instalados, suas condições físicas e elétricas podem estar abaixo de padrões aceitáveis. A interrupção permanente dos sinais e as anomalias intermitentes não são o único efeito provocado por conectores operando abaixo dos padrões. Por exemplo, em alguns casos pode haver produção de arcos voltaicos com seus efeitos indesejáveis. Em outros, o conector pode se transformar numa espécie de antena e captar ondas eletromagnéticas de RF, o que se chama de interferências de RF.

Outras vezes, ainda, pode prevalecer a abrasão mecânica, que em geral é a causa original das distorções introduzidas nos sinais, e das atenuações lineares ou não impostas aos sinais, além de intermitências.

Eis porque é fundamental conservar os conectores em bom estado. Mas, antes disso, vejamos os principais problemas a que os conectores estão sujeitos.

tipos de conectores

De modo geral os conectores elétricos podem ser classificados de inúmeras formas, de acordo com quaisquer de suas funções.

conectores macho e fêmea Os conectores possuem gênero. Ou são machos ou são fêmeas.

Os conectores macho também são conhecidos como plugues. E os conectores fêmea são chamados jaques. A diferença entre eles é que os plugues possuem pinos metálicos, os quais podem ter inúmeros formatos físicos. Já os conectores fêmea possuem receptáculos, também metálicos, os quais são desenhados para possibilitar um encaixe mecânico bem justo das partes e assim assegurar uma união física estável e segura e uma conexão elétrica precisa e garantida.

A figura 10.10 ilustra os dois gêneros, o que vale para todos os demais tipos de conectores.



figura 10.10 conector XLR fêmea à esquerda e macho à direita cortesia Neutrik

conectores de cabo e de painel Os conectores podem ser desenhados para que sejam montados nas extremidades dos cabos ou para que sejam montados em painéis.

Os conectores para montagem em cabos são chamados conectores de cabos ou em linha. Os conectores para painéis, que também podem ser montados em espelhos de caixas infraestruturais pequenas ou em grandes painéis de caixas infraestruturais e, ainda, em chassi de aparelhos, também são conhecidos com conectores de chassi.

A parte superior da figura 10.11 mostra quatro conectores circulares, fabricação LINK, de origem italiana. Por sinal, são conectores excelentes.

Pois bem, da esquerda para a direita vemos:

- conector macho de chassi
- fêmea de cabo
- macho de cabo e
- fêmea de chassi

A classificação também pode ser feita em função da maneira como os condutores elétricos são mecanicamente conectados nos terminais dos conectores. Que pode ser por soldagem, por crimpagem, por wrap wire, por parafuso, por meio da chamada técnica faston, por IDT (técnicas de deslocamento de isolamento) e alguns mais. Outras maneiras de classificar os conectores elétricos são por serem eles eletricamente isolados ou não, por possuírem ou não circuitos auxiliares além dos principais, em função do material utilizado nos contatos elétricos, ou pelos materiais utilizados na carcaça e nos isoladores, por terem ou não sistema de polarização, por estarem ou não equipados com travas, se são próprios para circuitos impressos ou para solda, e assim por diante. Entretanto, o que mais nos interessa no momento é

quanto ao modo como os contatos elétricos são estabelecidos. Que são: conectores de inserção de contato cilíndrico, conectores de inserção de lâmina, conectores de mola e conectores de parafuso.

conectores de inserção de contato cilíndrico Provavelmente esta classe reúne os conectores mais comuns entre os utilizados em áudio. Estes conectores são caracterizados por pinos tubulares metálicos do macho que são encaixados nos receptáculos metálicos tubulares do fêmea, como sugerem os elementos da figura acima.

Entre os conectores desta família estão: DIN, mini DIN, RCA (plugue fono e jaque fono), banana e banana duplo, XLR, speakon, RJ11, RJ45, euroblock ou phoenix, CPC (circular plastic connector), EP, subminiatura HD (High Density) e conectores de rede elétrica em geral, além de outros. A figura 10.11 ilustra alguns destes.



figura 10.11 diversos tipos de conectores de inserção de contato cilíndrico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne **conectores de inserção de lâmina** Os conectores deste grupo, cujos contatos também são conhecidos como espada, incluem os tipos faston e assemelhados, diversos conectores de rede de energia, alguns conectores para interligação de falantes, grande parte dos conectores de relés e outros.



figura 10.12 conectores por inserção de lâmina acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne **conectores de**

mola

Entre estes estão: P1 (2,5 mm PM e 2,5 mm PAM), P2 (3,5 mm PM e 3,5 mm PAM), PM (TS), PAM (TRS), bantam, alguns conectores de alto-falantes, chaves tipo liga/desliga, chaves de 2 e de 3 posições e outros.



figura 10.13 conectores de mola acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne conectores de parafuso



figura 10.14 conectores de parafuso (borneiras) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Em geral esses conectores estão fisicamente configurados na forma de régua contendo de 6 a 12 contatos. A figura 10.14 ilustra uma régua Bendal, fabricação Sindal, Brasil.

conectores speakON



**figura 10.15 powerCON macho de cabo à esquerda e fêmea de chassi `a direita, todos de 4 contatos
cortesia Neutrik**

Estes são conectores muito robustos, série STX, para uso nas ligações com as caixas acústicas.

Por sua qualidade intrínseca eles se tornaram uma espécie de padrão de mercado para uma grande parte dos fabricantes de produtos muito reputados.

Para que se tenha ideia, a especificação de corrente elétrica nominal do produto da esquerda, cujo modelo é o NLT4MX é de 40 A contínuos ou 50 A com sinais de áudio e “duty cycle” de 50%.

São produzidos com 2, 4 ou 8 polos.

conectores powerCON

O da esquerda é o modelo NAC3F-HC, fêmea de cabo. O da direita é o modelo NA3MP-HC, macho de chassi.



figura 10.16 powerCON conectores de mola cortesia Neutrik

Conectores para ligação de energia CA. São equipados com 3 polos, para fase, neutro e terra. Os modelos da figura 10.16 são especificados para correntes elétricas de até 32 A, cada polo. O que vale para temperaturas de até 35°C.

conectores IDS



figura 10.17 conector Elettrotap, fabricação AMP, tipo IDC

IDC é acrônimo para “Insulation Displacement Connector”. Como se percebe, este é um conector projetado para que a conexão elétrica seja feita entre uma parte metálica no conector e o cabo elétrico, cuja isolação, geralmente em PVC, é deslocada pelo formato de uma fenda da chapinha metálica do conector. No caso do conector da figura 10.17, o deslocamento do isolamento é obtido quando a parte lateral basculante é forçada sobre a base, que segura a plaquinha metálica.

A mesma técnica pode ser empregada de muitas outras formas, a exemplo do que nos mostra a figura 10.18.

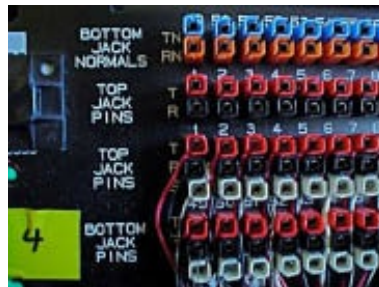


figura 10.18 vista da parte traseira de um patchbay da ADC, onde se percebe que os contatos elétricos são feitos com o fio sendo inserido num posto metálico com uma fenda, sendo que o fio é então forçado para essa fenda mediante uso de ferramenta especializada e própria para isso cortesia ADC

Estudos da ADC mostram que as conexões IDC são absolutamente confiáveis. Os testes foram feitos com fios isolados com PVC. Foram testados condutores sólidos e os tipos cabinho, com vários graus de flexibilidade, entre eles o Belden 8451, com controle de parâmetros como vida útil, vibrações, envelhecimento por operação em temperatura elevada, umidade, choques térmicos, nebulização com água salgada, além de muitos outros.

conectores de crimpagem



figura 10.19 conectores de crimpagem variados acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os conectores de crimpagem são como mostra a figura 10.19. O que todos eles têm em comum é uma extremidade em forma de tubo oco, que é o local onde o condutor elétrico deve ser inserido imediatamente antes da crimpagem.



figura 10.20 ferramenta de crimpagem com diversas alternativas de tamanhos de conectores acervo do

engº Luiz Fernando O. Cysne O processo de crimpagem consiste em comprimir por fora o tubo oco com o condutor elétrico já dentro dele. O que faz dessa junção uma estrutura sólida, única e muito difícil de ser desfeita. É precisamente com esse objetivo que foram desenvolvidas ferramentas de crimpagem, as quais podem aplicar com precisão a pressão necessária para que o processo seja seguro e durador.

Veja uma dessas ferramentas na figura 10.20.

conectores RJ45

Os conectores RJ45 já se tornaram conhecidos de praticamente todos os profissionais do áudio, o que ocorreu em função da utilização cada vez maior de cabos de rede em sistemas profissionais de áudio.



figura 10.21 ferramenta de crimpagem de conector RJ45 e os conectores à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.21 mostra uma ferramenta própria para a terminação do conector, abaixo dela uma ferramenta de corte para a remoção da jaqueta isolante do cabo e à direita estão os conectores RJ45. Acima ela tá terminado e abaixo antes da inserção dos pares no conector.

materiais dos contatos elétricos Um dos aspectos mais relevantes dos conectores é a formulação química dos contatos elétricos. De modo geral, os contatos são constituídos de um substrato revestido de uma camada externa, cuja formulação é especialmente selecionada para conferir ao produto final as características e estabilidade desejadas. Os materiais escolhidos podem ser elementos metálicos puros, ou compostos obtidos por fusão simples ou por processos metalúrgicos de micropartículas. Desta última maneira é possível chegar a combinações metálicas que não podem ser obtidas com métodos convencionais de obtenção de ligas.

Embora haja uma infinidade de combinações e de ligas possíveis, as mais comuns e suas principais características são:

- substrato: bronze (CuSn6 , CuSn8), latão (CuZn39Pb3), $0,2\text{ }\mu\text{m}$ Au liga dura sobre $2\text{ }\mu\text{m}$ Ni, ligas de cobre, cobre-berílio (CuBe), níquel, monel e aço
- revestimento externo: níquel ($2\text{ }\mu\text{m}$ Su), paládio - excelente combinação de vida útil com capacidade de corrente e com resistência às agressões ambientais, prata fina ($2\mu\text{m}$ Ag) - capacidade de portar corrente superior à dos contatos de paládio, liga de ouro - ideal para a comutação seca com excelente resistência à corrosões e contaminações, prata fina em peças grandes - capacidade de portar correntes muito elevadas, ouro ($0,2\text{ }\mu\text{m}$ Au) ou prata - oferecem baixas resistências de contato vulnerabilidade dos conectores Muito bem. Independente de como os conectores podem ser classificados ou da química de seus contatos elétricos, o ponto que vamos discutir é sua elevada vulnerabilidade à ação do tempo.

À medida em que são utilizados, os contatos elétricos têm sua estabilidade química e mecânica alterada e, dependendo da alteração, sua função essencial pode ficar comprometida. A resistência de contato (RC) tende a aumentar nanoscopicamente, mas numa ação que prossegue dia a dia. E o desempenho dos contatos elétricos vai sendo degradado progressivamente, até que as falhas começam a aparecer.

Vejamos cada um dos possíveis problemas com mais detalhes.

grau de intimidade física dos contatos A olho nu, a intimidade mecânica das partes metálicas dos contatos elétricos pode parecer perfeita. Mas quando olhamos para essa união mecânica através de um microscópio, vemos coisas como as da figura 10.22. Na parte superior está a junção vista de lado.

Observe que as superfícies dos contatos podem ser tudo, menos planas. Suas asperezas se tornam logo aparentes. E fica fácil visualizar que as partes que fazem contato físico entre si são apenas uma fração muito pequena do que antes imaginávamos que fosse a “área de contato”.

Essas poucas áreas de contato real são denominadas **pontos A**. Tal mecanismo prevalece para qualquer tipo de substrato metálico e para quaisquer que sejam as formulações químicas de seus revestimentos. Estudos específicos feitos com inúmeros gêneros e tipos de contatos elétricos mostram que o percentual da área total dos pontos A pode ser 1% da área nominal dos contatos metálicos. Sim senhor, apenas 1%. A parte inferior da figura representa esta situação, mostrando a superfície de contato vista de cima. Os pontos escuros são os pontos A.

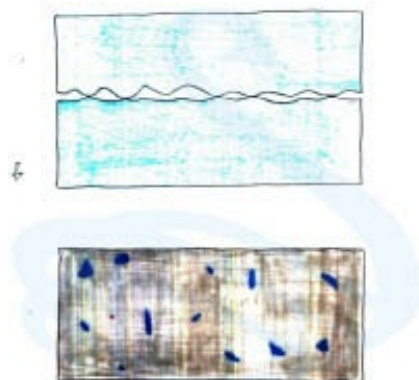


figura 10.22 intimidade mecânica entre contatos de conectores vista pelo microscópio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Evidentemente, toda a corrente elétrica que flui pelo contato acaba sendo brutalmente afunilada para passar apenas pelos pontos A. Como ilustra a figura 10.23. Na qual a corrente é representada na cor vermelha.

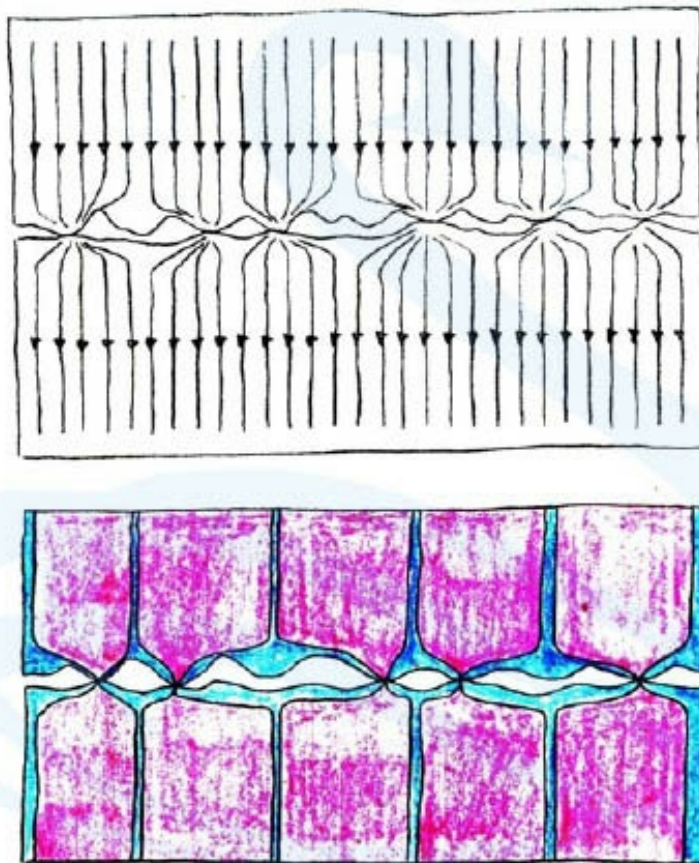


figura 10.23 corrente elétrica (magenta) fluindo através dos contatos de um conector com ampliação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É até intuitivo que, quanto mais pronunciado é esse fenômeno maior torna-se a resistência de contato. Justamente o que se queria manter reduzido. Uma das saídas para esse fato da vida real é aumentar as áreas de contato até que a somatória das áreas dos pontos A seja suficiente para manter a resistência de contato dentro de limites aceitáveis.

Independentemente disso, a perda de área efetiva de contato produz sua degradação.

Inicialmente, como a área de contato real é muitas vezes inferior à área aparente do contato, a pressão mecânica exercida sobre os pontos A é muito superior ao que se pensa sem levar em conta a redução da área de contato. Muitas vezes a pressão real é bem superior ao limite teórico estabelecido para o material do contato. Quando isso ocorre, a pressão exercida geralmente deforma permanentemente os contatos, em função de seu índice de dureza mecânica (Brinell, Rockwell, Vickers, Shore, etc.). Entretanto, tais deformações permitem avaliar a resistência de contato em função da dureza e da força de contato. Para superfícies monometálicas, livres de agentes contaminantes, a resistência de contato é dada por

$$R_c = \sqrt{\frac{\rho^2 \pi H}{4F}}$$

onde

- ρ é resistividade elétrica do material em questão
- H é seu grau de dureza Vickers (sempre o mais macio dos dois que fazem contato) e
- F é a força de contato.

Se tomarmos a expressão acima para calcular a variação da resistência de contato em função da variação da carga, chegaremos ao gráfico ilustrado na figura 10.24. Veja nesse gráfico que a resistência de contato cai rapidamente com o aumento da força de contato. Para se situar na casa dos miliohms com cargas de poucas centenas de gramas, valor representativo de casos gerais em sistemas de áudio.

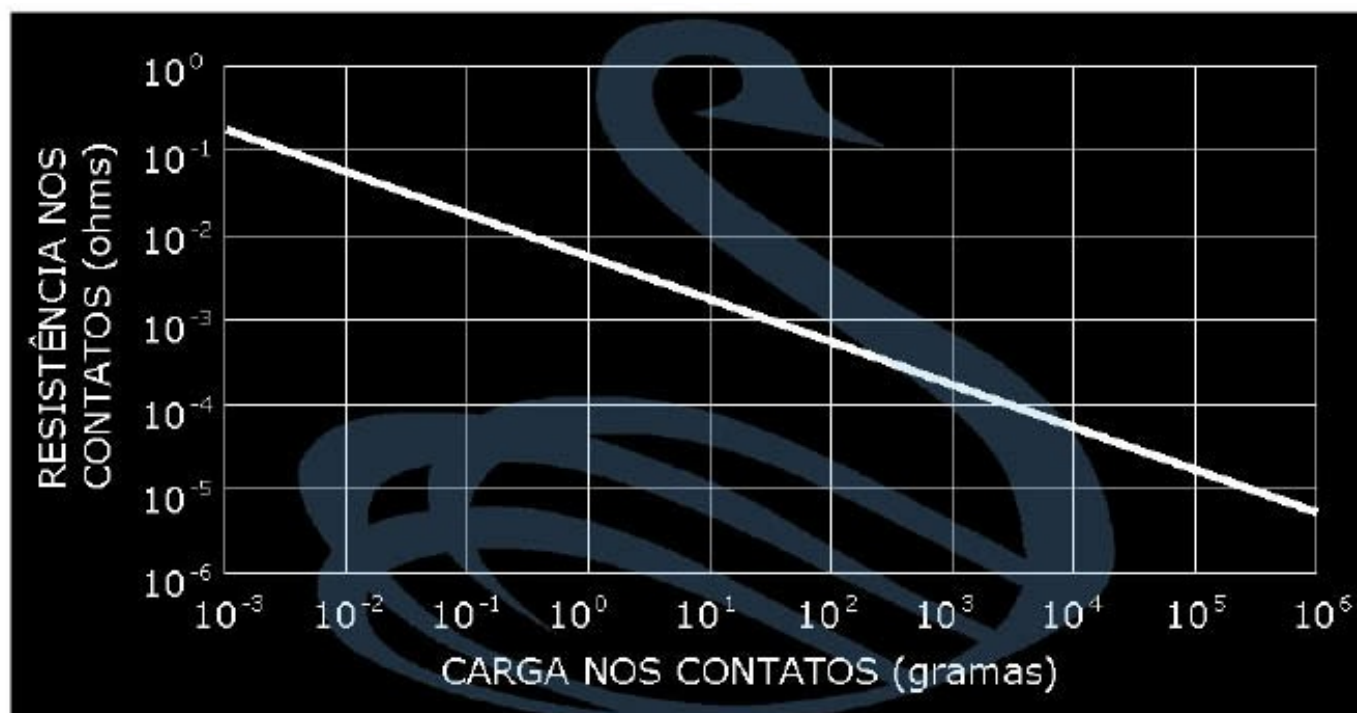


figura 10.24 curva de resistência elétrica nos contatos x carga mecânica (gramas) nos contatos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mas não se engane. A simplicidade desta expressão esconde muito das origens dos fenômenos físicos que governam o interface elétrico dos contatos metálicos. Tanto é assim que, a rigor, a variação da resistência de contato com a variação da carga deve-se a uma combinação de fatores, a saber: 1) o aumento do grau de aspereza das superfícies de contato sob a influência do aumento de carga, tão logo o contato físico tenha sido iniciado, 2) o “aplainamento” permanente das superfícies de contato, o que reduz a resistência elétrica em cada ponto A e, por isso mesmo, a resistência elétrica global do contato como um todo e 3) o endurecimento mecânico resultante da deformação a que o metal é submetido, o que reduz a taxa de “aplainamento das deformações”. Desse modo, aumentos de carga não produzem deformações lineares, mas que se reduzem progressivamente em virtude do endurecimento. Que também é de natureza progressiva.

a ação da temperatura

A passagem da corrente elétrica pelos contatos produz um aumento quase que instantâneo de temperatura. Quando, então, se atinge um patamar de equilíbrio. O tempo para atingir esse patamar é tipicamente inferior a 1 ms. Considerando que os pontos A são áreas de contato diminutas, apenas uma pequena parte do calor gerado pode ser dissipada por convecção natural.

Logo, a parte que não é dissipada por convecção acaba tendo que escoar pelas partes

metálicas dos contatos. Esse mecanismo específico impõe uma relação definitiva entre a temperatura máxima de contato nos pontos A (T_{MC}) e a queda de voltagem no contato.

Essa relação pode ser expressa matematicamente nos seguintes termos

$$V^2 = 4L (T_{MC}^2 - T_0^2)$$

Nessa expressão, V é a queda de voltagem nos contatos elétricos, em volts, L é a constante de Lorenz ($2,45 \times 10^{-8} \text{ V}^2/\text{K}^2$), T_0 é a temperatura média de todas as partes metálicas antes da passagem da corrente elétrica, com T_{MC} e T_0 expressos em graus Kelvin.

Você pode notar nesta expressão que a voltagem independe do material utilizado no contato.

A figura 10.25 ilustra as variações de temperatura no contato (TC) em função da voltagem através dos contatos.

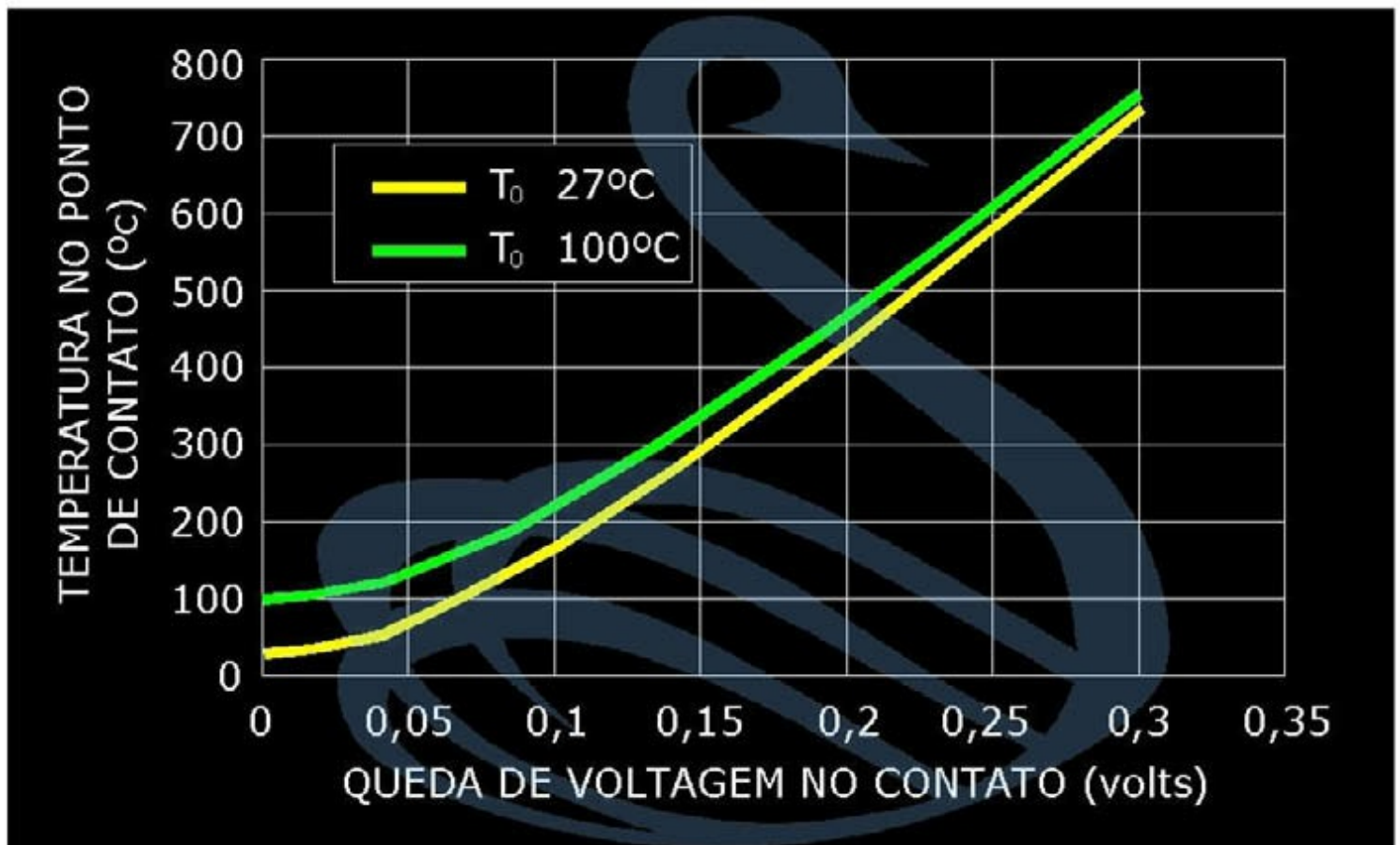


figura 10.25 curva de temperatura no ponto de contato x queda de voltagem nesse mesmo ponto acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essas curvas se aplicam a quaisquer metais, combinações ou ligas. Observe que uma voltagem de apenas 0,1 volt é o bastante para aquecer o contato a uma temperatura superior a 150°C. Mesmo quando a temperatura inicial das partes metálicas é apenas 27°C.

Para se ter uma ideia melhor disso, um contato estanho-estanho derreterá com uma queda de voltagem de apenas 0,13 volts, correspondente à temperatura de 232°C.

Na literatura técnica, essa voltagem é denominada “voltagem de fusão”. A tabela 10.5 a seguir lista as voltagens de fusão para alguns metais.

tabela 10.5

METAL	V _F (volts)
Ni	0,15
Cu	0,43
Zn	0,17
Ag	0,37
Sn	0,13
Au	0,43
Pd	0,57

Vemos então que as magnitudes da voltagem e da corrente elétrica através dos contatos elétricos não podem ser desprezadas. Contudo, é preciso discernir coisas como o fato da determinação da temperatura nos pontos A não resultar da magnitude da corrente, mas da voltagem. Por outro lado, a magnitude da corrente elétrica afeta o valor de TO nas expressões anteriores. Essas informações também sugerem que qualquer conector deve ser projetado para trabalhar com queda de voltagem substancialmente inferior a 0,1 volt. Em casos gerais essa voltagem não deve ser superior a 0,01 volt, mesmo diante da passagem da mais elevada corrente elétrica prevista para toda a vida útil do componente.

contaminação dos contatos - corrosão por oxidação Veremos a seguir inúmeras formas de contaminação dos contatos elétricos.

corrosão por oxidação

A corrosão por oxidação é a combinação dos metais com o oxigênio do ar, o que produz óxido metálico. Apenas para visualizar o fenômeno, pense num pedaço de ferro que enferruja. A ferrugem nada mais é do que o óxido de ferro.

Esta forma de corrosão é a tendência da natureza recuperar suas formas originais, já que a maioria dos metais é encontrado “in natura” na forma de compostos. Como óxidos, sulfetos, *etc.* Ora, é evidente que essas são as formas mais estáveis desses elementos.

A corrosão por oxidação pode ser acelerada com a elevação da temperatura e pela ação do vapor d’água presente no ar, especialmente quando esse vapor contém substâncias agressivas como ácidos e sais.

A corrosão por oxidação deixa um filme óxido nas superfícies dos contatos elétricos, o que, no mínimo, dificulta a função elementar dos contatos, aumentando a resistência de contato.

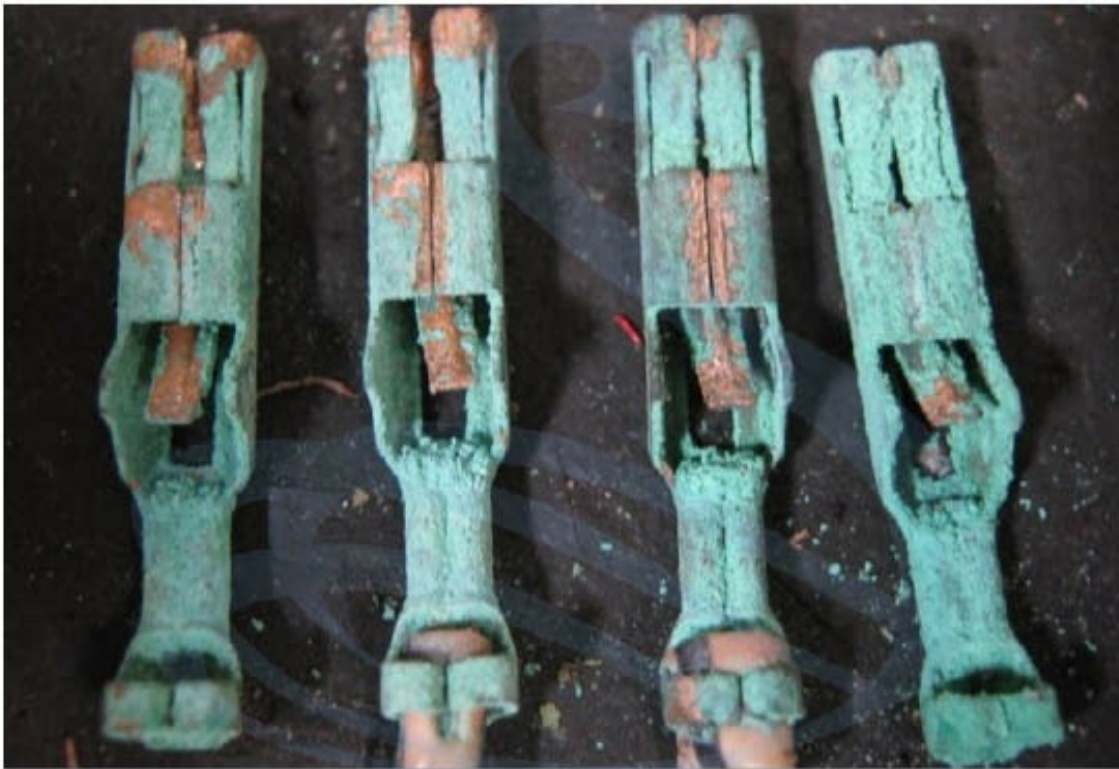


figura 10.26 corrosão por oxidação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne corrosão galvânica

Na esmagadora maioria dos casos a corrosão galvânica é um fenômeno que resulta da combinação de duas ações, uma galvânica e outra eletrolítica. Isso é especialmente verdadeiro quando a corrosão galvânica refere-se aos contatos elétricos dos conectores.

Sem dúvida, no processo de corrosão galvânica há produção de corrente elétrica. Que é o resultado de uma reação química.

As consequências desse processo são um misto de transferência com combinação com corrosão de materiais diferentes, submetidos à mesma reação química. Como acontece numa bateria convencional.

Durante esse processo, os íons de um metal que vou chamar de “A”, para anodo, migram para o outro metal, que vou chamar de “C”, para catodo. Simultaneamente, os elétrons de “C” migram para “A”, promovendo o equilíbrio do circuito.

Isso tudo quer dizer que para haver a reação galvânica é preciso haver: • dois metais diferentes • um eletrólito e

- uma ligação elétrica comum aos dois metais

Dois metais diferentes constituem a regra geral para praticamente quaisquer conexões feitas com conectores em sistemas profissionais de áudio. Procure saber quais são os materiais de acabamento dos conectores dos microfones especificados para um sistema, e descubra quais são os materiais de acabamento dos conectores que serão utilizados nessas conexões. Então você verá claramente o que quero dizer.

O eletrólito é facilmente introduzido nessas conexões por efeito de umidade natural do ar, de pós salinizados, fluxos e tantos outros. Através desse mecanismo uma corrente elétrica de magnitude desprezível espontaneamente começa a fluir através dos contatos elétricos dos

conectores, mesmo com o sistema totalmente desligado.

Esse é o início da reação galvânica. Ela fica muito intensificada assim que os conectores começam a ser utilizados como meios de ligação para a circulação de correntes elétricas operacionais.

Os metais envolvidos acabam sendo corroídos, com formação de filmes ou de superfícies resistivas.

Como consequência, à medida em que os metais se tornam mais corroídos vão aumentando as resistências dos contatos.

Note que esse é um processo auto alimentado cujo final é conhecido: a falha dos contatos.

Esse é um dos bons motivos pelos quais não me canso de dizer que as conexões elétricas são os pontos mais vulneráveis de quaisquer sistemas profissionais de áudio.

Um alerta. Nosso objetivo agora é focar nas conexões elétricas. Mas o mesmo mecanismo que gera a corrosão galvânica também ocorre com parafusos e porcas, chapas metálicas e quaisquer outras circunstâncias nas quais dois metais dissimilares sejam unidos.

Isso porque dois metais dissimilares possuem diferenças de elétrons em seus átomos. Ou seja, há uma diferença de cargas elétricas entre eles. É por isso que quando eles são colocados em contato direto, elétrons do «metal mais negativo» são atraídos por indução para as órbitas de átomos com cargas mais positivas, movendo-se, portanto, do «metal mais negativo» para o «metal mais positivo». Até que seja tingido um ponto de equilíbrio. Quando o contato é desfeito o metal antes «mais positivo» retém os elétrons recém adquiridos e acaba ficando menos positivo do que era antes. A menos que tenha cedido íons na mesma proporção dos elétrons recebidos.

É por isso que o filme contaminante também pode se formar facilmente nas superfícies dos contatos elétricos em razão da corrosão galvânica. Que, como mencionei antes, é essencialmente um processo eletroquímico no qual um metal acaba sendo corroído quando dois metais de formulações diferentes entram em contato e há um meio eletrólito para favorecer a corrosão.

Também vimos que a função do eletrólito é servir como meio para a migração de íons metálicos que abandonam o anodo na direção do catodo. E assim, o anodo - metal mais negativo - acaba sendo corroído muito mais rapidamente do que seria de se esperar. O outro metal, mais nobre e positivo em relação ao anodo, é chamado catodo. Muitas vezes a reação galvânica é desejada, a exemplo das baterias primárias, nas quais o processo é estimulado para gerar voltagem. Outro exemplo é a pilha carvão-zinco, na qual o zinco é corroído para produzir a corrente elétrica. A bateria de limão usada nas aulas de ciência das escolas primárias é mais um exemplo de reação entre dois metais dissimilares que produz corrente

elétrica. Mas certamente este não é o caso dos contatos elétricos. Nestes, o eletrólito acaba sendo um elemento espúrio, criado pelo próprio ar com sua umidade relativa e partículas condutivas em suspensão. A umidade relativa muito baixa favorece a formação de cargas eletrostáticas. Porquanto níveis elevados de umidade relativa tendem a acelerar bastante a corrosão galvânica.

O volume da transferência de elétrons depende muito dos particulares materiais empregados e de suas posições relativas na série triboelétrica, além de outros fatores.

Como resultado, a corrosão galvânica forma uma película corrosiva nas superfícies dos contatos elétricos.

efeitos da maresia

A corrosão por efeito da maresia é uma variedade particular da corrosão galvânica. Portanto, como aquela, esta também é uma corrosão eletroquímica.

A maresia, presente em qualquer parte das costas litorâneas do mundo, é a mistura venenosa de vapor d'água com cloreto de sódio (NaCl), salitre (NaNO_3 e KNO_3) e eventualmente, outros agentes similares. Todos altamente oxidantes. Tradução: altamente corrosivas. Ou seja, a maresia é um eletrólito muito eficaz.

Sabemos que a velocidade da corrosão depende do líquido ou da umidade no ambiente. Muito bem. Em função desse eletrólito eficiente, a corrosão é acelerada brutalmente. Ou seja, os metais cedem elétrons para a água promovendo a formação de óxidos metálicos rapidamente. Vários estudos feitos indicam que, na presença de maresia, a velocidade da corrosão é aproximadamente 40 vezes superior à velocidade da corrosão em ambientes sem maresia.

porosidade

Os metais nobres como o ouro estão menos propensos a oxidar do que outros, menos nobres. Entretanto, os contatos de ouro exibem poros. Como o nome sugere, poros são micro orifícios, geralmente com diâmetro inferior a um micromilímetro, encontrados quase que invariavelmente nas superfícies de ouro, como ilustra a parte esquerda da figura 10.27. Esses orifícios permitem o acesso de agentes corrosivos presentes no ambiente, como o sulfureto de hidrogênio, o dióxido sulfúrico e cloridos, trazidos pela umidade, que se alojam no substrato. Reações do material usado no contato elétrico com os contaminantes e mais a água produzem a formação de corrosão sólida que se estende por áreas muito superiores às áreas originais dos poros. Como ilustra o lado direito da figura 10.27.

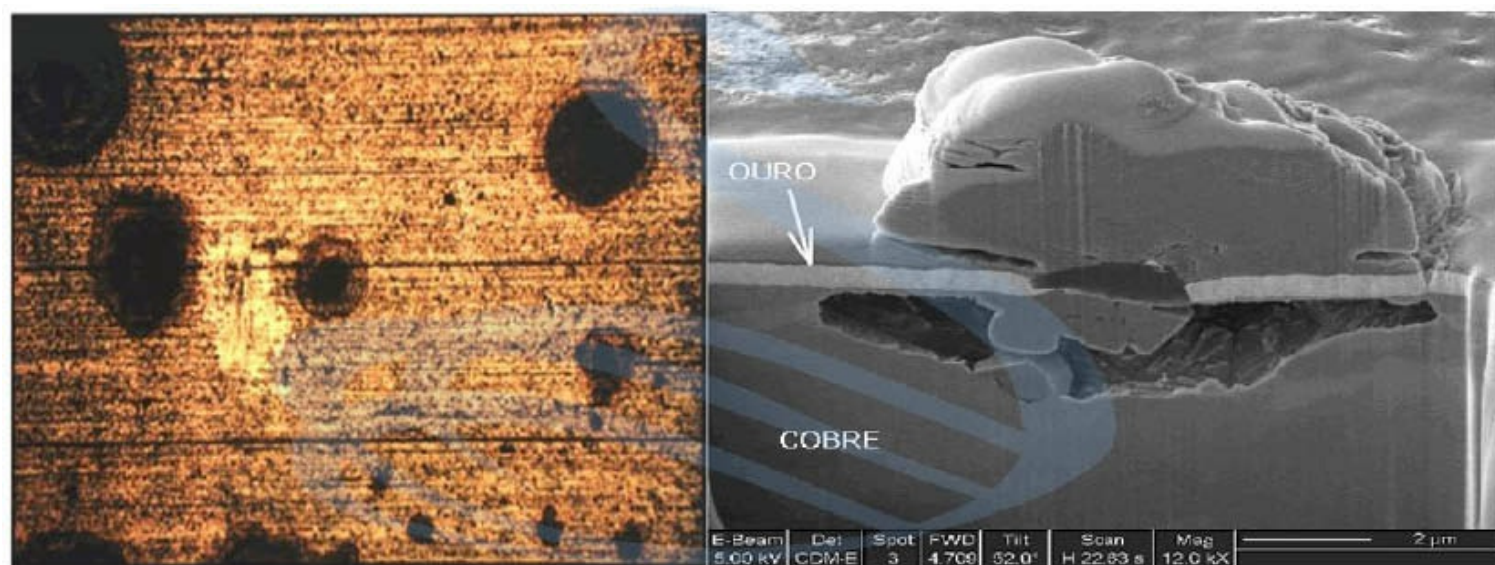


figura 10.27 porosidade do ouro à esquerda e corrosão sólida à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Observe no lado direito da figura que a corrosão produz um bloco irregular (de sulfureto de cobre) abaixo da camada de ouro. Os poros aumentam consideravelmente a resistência de contato e provocam a degradação das superfícies dos contatos elétricos em grau bastante severo.

Fraturas

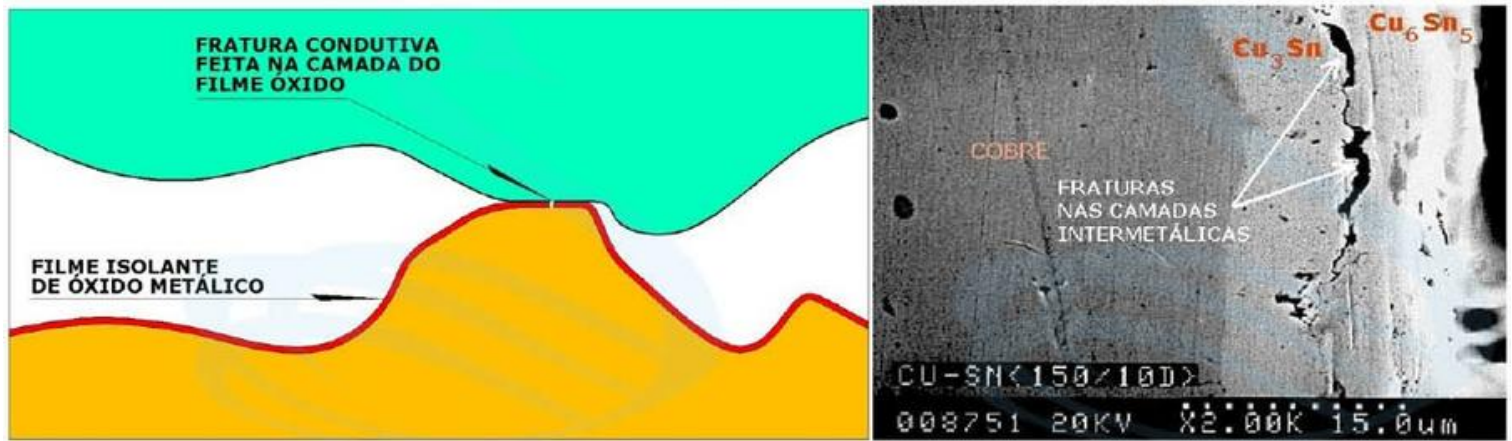


figura 10.28 fratura condutiva à esquerda e corrosão sólida à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se pretendemos que haja circulação de corrente elétrica através de um contato elétrico coberto por qualquer película corrosiva ou filme óxido isolante, esta película ou filme deve estar fraturado. Como mostra lado esquerdo da figura 10.28. Lá está a visão pictórica ilustrando o passo condutivo no filme eletricamente isolante. Do lado direito a ampliação de uma formação peculiar de componentes intermetálicos, de Cu_3Sn e Cu_6Sn_5 , sobre a camada de cobre. As fraturas ficam claramente visíveis na camada intermetálica.

Na prática, as dimensões das fraturas dependem da espessura da película ou do filme. Mas elas podem ser muito pequenas e provocar aumentos inaceitáveis da resistência de contato. As curvas da figura acima mostram as relações entre espessura de películas e filmes e as resistências de contato elétrico para os casos do níquel, do cobre e da prata. A figura chama a atenção porque aponta para fatos como uma camadinha contaminante de poucos nanômetros sobre o níquel ou sobre o cobre ser capaz de produzir uma elevação significativa da resistência de contato.

O agente contaminante que mais se forma sobre contatos de prata tem a forma de manchas opacas de sulfeto de prata. Felizmente esse agente não adere com firmeza ao substrato e ainda fratura facilmente. Outra das razões pela qual a prata é um dos principais metais escolhidos para revestir substratos de quaisquer metais.

vibrações

Vibrações mecânicas costumam produzir ruptura dos pontos A. A magnitude dos impactos determina até que ponto os contatos podem ser prejudicados. Evidentemente, isto também depende do acabamento da superfície dos contatos, da aspereza dos materiais, das cargas aplicadas aos contatos, além de outros fatores.

gradientes térmicos

As expansões físicas provocadas por gradientes térmicos nos contatos elétricos produzem efeitos semelhantes ao das vibrações mecânicas.

desgaste erosivo

Movimentos de pequena amplitude produzem o desgaste erosivo nos contatos elétricos. Isso é particularmente verdadeiro quando ao menos uma das superfícies de contato se encontra oxidada. Essa forma de contaminação produz pequenas partículas de resíduos sólidos exatamente nos pontos A.

Acompanhe pela figura 10.29. O lado esquerdo mostra que em função de pequenos movimentos relativos entre os contatos, já surgem os primeiros microcavacos, indicados na cor vermelha. No centro, os microcavacos aumentaram e quase todos eles já se mostram bastante oxidados. Os óxidos são indicados na cor azul. No lado direito da figura a formação de óxido já se mostra bastante generosa, sinalizando que o processo adquire velocidade cada vez maior.

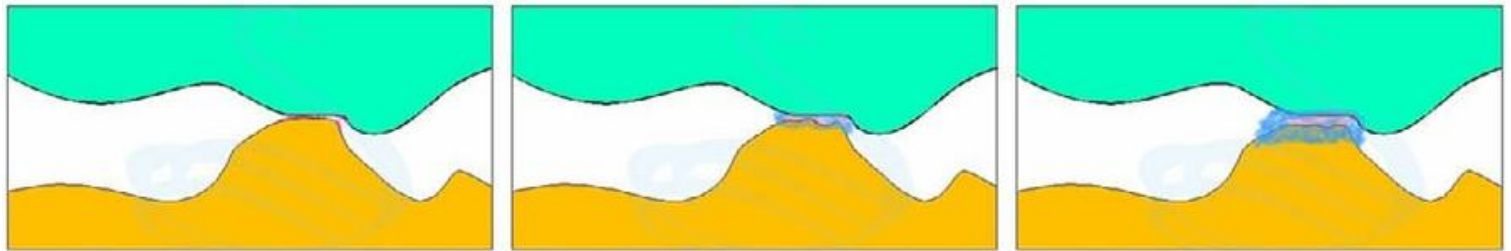


figura 10.29 à esquerda – pequenos movimentos relativos entre os contatos, o que produz microcavacos (em vermelho), no centro – aumento da quantidade de microcavacos e sua oxidação (em azul) e à direita – aumento substancial na quantidade de microcavacos e sua oxidação, estabelecendo o aumento progressivo da velocidade do processo deletério acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No caso específico do áudio, esses micromovimentos variam de poucos μm a até $100\ \mu\text{m}$. Eles podem ser produzidos por vibrações externas e por variações de temperatura que produzem expansão e contração dos materiais. O desgaste erosivo leva ao aumento da resistência de contato e, muitas vezes, à interrupção de funcionamento do conector.

relaxamento mecânico

O relaxamento mecânico é a perda da força de contato mecânico que, em condições normais, reage à carga aplicada ao contato. Este efeito depende da composição do material, de sua forma física e o estado metalúrgico dos metais dos contatos. O relaxamento cresce em escala exponencial com o aumento da temperatura. Facilitando o desgaste erosivo e outros efeitos deletérios para a integridade dos contatos elétricos.

Isto é particularmente verdadeiro quando ao menos uma das superfícies de contato se encontra oxidada. Tal forma de contaminação produz pequenas partículas de resíduos sólidos exatamente nos pontos A.

soluções

projeto

A atenção voltada para a vida útil dos conectores começa no projeto. É nessa etapa que alguns cuidados precisam ser tomados simultaneamente. O primeiro e mais óbvio é especificar conectores de qualidade. Uma vez que a corrosão galvânica está diretamente relacionada com metais diferentes, as melhores opções são por conectores que tenham revestimentos de mesmo material. Contudo, isso pode ser relativamente difícil de determinar. Até porque a maioria das folhas técnicas de equipamentos não menciona os materiais que revestem os contatos elétricos dos respectivos conectores. E é aí que entra a experiência do projetista.

O segundo cuidado é especificar o modo como os conectores devem ser instalados. Especialmente o que diz respeito ao alívio mecânico dos cabos.

O terceiro cuidado refere-se às condições ambientais de modo geral.

Vamos começar com os locais onde os conectores serão instalados. Ainda na etapa de projeto temos que saber as condições de agressividade desses locais. Que tipos e quantidades de materiais particulados em suspensão no ar devemos esperar. A temperatura média anual de cada um dos locais, se houver mais que um. E as variações de umidade relativa na região. A presença de maresia no local exige precauções próprias de um caso muito especial.

Quase todas as instalações de novos sistemas são feitas em obras. A construção de pisos, de paredes, de forros e de outras estruturas em alvenaria ou materiais substitutivos produz enormes quantidades de poeira. São materiais particulados de areia, de cimento, de cal e de muitos outros materiais agressivos em suspensão no ar. Na linha do brutal desperdício do qual o Brasil é palco secular, em quase todas as obras quebra-se parte significativa do que foi construído antes. Tudo sempre muito bem justificado. O resultado é que aquelas quantidades enormes de poeira das construções iniciais acabam sendo multiplicadas algumas vezes.

O projeto deve vedar totalmente a instalação de racks com conectores em tais ambientes, ou os contatos elétricos certamente vão ficar impregnados com essas partículas dando início à corrosão. Alternativamente, os racks podem ser montados na oficina da empresa instaladora. E aí mantidos até que não haja mais poeira no local da obra. Com efeito, a experiência mostra de forma cabal que pouco adianta efetuar todos os serviços na obra, em horas nas quais o ambiente é mais favorável e, depois, proteger os racks com filmes plásticos. O problema é que a poeira acaba penetrando nos racks e, em seguida, nos contatos elétricos dos conectores. A partir desse momento são disparados os dispositivos de contaminação, de corrosão e o pior, estabelecidas as condições para a ação da abrasividade.

No caso específico de ambientes com maresia o mesmo é aplicável. Além disso, outros cuidados são essenciais. Como não deixar nenhuma das entradas de ar dos racks sem filtros adequados para evitar a entrada das partículas em suspensão próprias da maresia. Outro

cuidado muito importante nessas condições é jamais desligar os equipamentos. Isso mesmo. Não os desligue jamais após ter energizado o sistema pela primeira vez. Com efeito, ao esfriar, os conectores se tornam muito receptivos à umidade e ao salitre, favorecendo a ação da corrosão. Ao contrário, mantidos aquecidos, eles são, até certo ponto, refratários à umidade e às partículas em suspensão.

Outro cuidado é utilizar muita sílica-gel nas proximidades dos conectores, preferencialmente a do tipo de saturação infinita. Esta é a fórmula para atenuar a umidade ambiente.

Em casos muito graves, que poderão ser facilmente inferidos por consultas aos vizinhos e à população no entorno do local da instalação, será preciso utilizar um produto realmente profissional para assegurar proteção extra. Algo como o CorrosionX, fabricado pela Corrosion Technologies Corporation, e distribuído no Brasil pela AFRE Comércio, Importação e Exportação Ltda (info@corrosionx.com.br).

Após esses cuidados essenciais, vejamos separadamente cada uma das soluções possíveis.

medidas efetivas

a qualidade dos conectores Usualmente recomendo ao projetista de som em início de carreira que, ao projetar um sistema de som, mesmo um muito simples e econômico, que procure economizar em tudo. Menos nos conectores. Exatamente porque eles são os pontos mais vulneráveis de qualquer sistema.

Ao fazer a inspeção de conectores de um sistema já operando há um certo tempo, chegará o momento em que se fará a avaliação da qualidade original dos conectores utilizados. Afinal, não tem o menor sentido conservar um produto de qualidade inaceitável. Como disse antes, um produto assim sequer deveria ter sido escolhido. Até porque, especificar produtos de baixa qualidade é pedir para ter problemas mais cedo ou mais tarde. Geralmente mais cedo.

Se o projetista imagina que usar conectores de qualidade inferior pode trazer uma certa vantagem financeira, está redondamente enganado.

Talvez até haja uma “virtual vantagem” de partida. Mas ao longo do tempo ocorre justamente o inverso. Pois os custos com manutenção e sua curva ascendente acabam fazendo a diferença. E muita. Pior do que isso é que a falta de confiabilidade será uma das marcas registradas do sistema, ao menos até que todos os conectores sejam substituídos por outros, de qualidade comprovada.

Uma das maneiras para determinar a qualidade dos conectores é procurando sua origem. Produtos originais Switchcraft, Neutrik e ITT estão fora de quaisquer suspeitas. Marcas desconhecidas deverão ser investigadas mais detalhadamente. Infelizmente, por força do mercado e da pressão dos preços baixos, os conectores de marcas desconhecidas acabam sendo disponibilizados com qualidade cada vez inferior e preços correspondentemente mais baixos. Esta costuma ser a opção dos incautos.

Durante serviços de manutenção, diante de conectores de qualidade duvidosa, ou sabidamente inaceitável, a única providência que recomendo é a substituição por outros de qualidade comprovada.

o ambiente

Áreas sujeitas a grandes variações de temperatura, ambientes muito úmidos e aqueles que se sabe de antemão que contém partículas de agentes contaminantes no ar são particularmente perigosas para os conectores. Razão pela quais devemos evitar instalações em espaços assim.

Quando isso não for possível, por exemplo por estarmos lidando com uma instalação numa fábrica pesada, uma das formas de se evitar o problema, mesmo em locais muito agressivos, é equipando as salas onde estão os equipamentos com condicionamento de ar. Para casos onde a confiabilidade é um pressuposto, de forma ininterrupta. A filtragem é um recurso implícito.

Manter sobrepressão na sala é outra forma de evitar que partículas em suspensão no ar tenham acesso às salas onde estão os equipamentos.

Quando os conectores estão no interior dos racks, a vedação mecânica não é possível porque as técnicas de gerência térmica exigem circulação de ar. Ainda assim, a utilização de filtros na entrada e em todos os pontos de coleta de ar é a forma correta de evitar que partículas indesejáveis caminhem para o interior dos racks. Usar conectores isolados e protegidos por carcaças envoltórias é uma excelente ideia, especialmente quando se sabe que o ambiente não é dos melhores para os conectores.

programa de manutenção preventiva A manutenção preventiva é a chave para a longevidade de qualquer sistema. Inclusive os de som. E qualquer manutenção preventiva precisa ser planejada. O resultado é o programa de manutenção preventiva e a inspeção do estado físico dos conectores.

Do ponto de vista dos conectores, o ideal é que eles sejam verificados a períodos de 1 mês, ou menos se a agressividade do ambiente assim o determinar.

inspeção dos conectores e medições



figura 10.30 medidor Extech modelo 380560

A inspeção em si fica muito facilitada se o técnico usar lente de aumento apropriada.

Importante salientar que as condições de iluminação devem ser adequadas para essa atividade. Digamos, nada inferior a 1.000 lux no plano de inspeção.

Além dos contatos em si o técnico deve verificar a união dos condutores elétricos com o substrato dos contatos. No caso dessa união ser soldada, a inspeção deve ser orientada para eventuais soldas frias.

Muitas vezes é consideravelmente difícil estabelecer com precisão as condições de um determinado contato elétrico. Uma das alternativas para superar esse obstáculo é fazer a medição das resistências de contato. Entretanto, fazer leituras em situações de correntes relativamente elevadas e de quedas de voltagem de poucos $\mu\Omega$ requer instrumentação especial.

Como o medidor Extech 380560, com resolução de 0,01 m Ω , exibido na figura 10.30.

remoções mecânicas

Durante as inspeções os técnicos poderão encontrar agentes contaminantes e dejetos sobre os contatos. Os principais são:

- fumo (quaisquer partículas em suspensão no ar produzidas pela queima da biomassa)
- fumo (qualquer partícula produzida por combustão: material particulado, dióxido de enxofre, trióxido de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio)
- partículas de poeira levantadas do solo por ventos
- detritos em geral

- microfibras orgânicas ou inorgânicas
- excremento de ácaros
- pólen de plantas
- material particulado com partículas finas (diâmetro $\leq 10 \mu\text{m}$)
- partículas de areia em suspensão no ar
- aerossóis, gotículas em suspensão provenientes da dispersão mecânica de líquidos
- poeira inerte: carbonatos, celulose e caulino
- poeira fibrogênica: sílica e amianto
- poeira alergizante: partículas de madeiras, cromatos e resinas
- poeiras tóxicas: partículas de chumbo, de cádmio, de manganês, de berílio, de cromo, *etc.*
- cinza vulcânica, poluentes e alta concentração de ozônio
- poluentes mais comuns: compostos de enxofre, compostos de nitrogênio, compostos orgânicos de carbono, monóxido e dióxido de carbono, compostos halogenados e material particulado com diâmetros $\leq 100 \mu\text{m}$
- material variado gerado por indústrias, veículos, queima de lixo e construções civis, entre outros
- material particulado produzido por processos industriais
- compostos de enxofre comuns em suspensão no ar: SO₂, SO₃, H₂S, mercaptanas, dissulfeto de carbono, sulfatos, compostos de enxofre reduzido
- compostos de nitrogênio: NO, NO₂, NH₃, HNO₃, nitratos
- compostos orgânicos típicos: hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos orgânicos
- compostos de carbono: CO, CO₂
- compostos halogenados: HCl, HF, cloretos, fluoretos
- ozônio: O₃, formaldeídos,

acroleína A primeira tentativa que o técnico vai empreender para tentar remover os detritos localizados é direcionar jatos de ar comprimido sobre os contatos para obter uma limpeza mecânica dos mesmos. A pressão do ar não pode ser exagerada ou o resultado poderá ser o desalinhamento mecânico do conjunto.

Você encontrará em muitos textos recomendação para “limpar” contatos com borracha de apagar da variedade comum. Jamais faça isso. De fato, borrachas em geral deixam muitos resíduos sobre os contatos, os quais também não podem ser vistos a olho nu.

remoções químicas

O mercado oferece uma quantidade praticamente incontável de produtos para remover com eficiência os detritos com contatos elétricos.

Além disso, muitos especialistas recomendam o uso de álcool isopropílico. Enquanto outros técnicos condenam o uso desse mesmo produto, e em seu lugar recomendam o uso de álcool denaturado.

Muitos sugerem o uso de cotonetes convencionais. O que é consideravelmente perigoso pois tais produtos perdem enorme quantidade de fibras, a maioria não visível a olho nu.

Em se tratando de produtos anunciados pelos respectivos fabricantes, fica muito difícil para o técnico separar o joio do trigo. Até porque todos os fabricantes alegam que seus produtos são o estado da arte da tecnologia e batem longe todos os demais concorrentes.

Posso recomendar o produto que uso há tempos sem que até o presente momento tenha tido qualquer problema. Que é o que vimos anteriormente para casos graves. Ou seja, o CorrosionX, fabricado pela Corrosion Technologies Corporation, e distribuído no Brasil pela AFRE Comércio, Importação e Exportação Ltda (info@corrosionx.com.br).

O CorrosionX combate a corrosão sem deixar resíduos de cera, o que fazem muitos dos outros produtos, inclusive alguns fabricantes alegando que a camada de cera é uma forma de proteção dos contatos. Uma das vantagens do CorrosionX é que ele foi concebido para combater a corrosão em ambientes salitrados. É por isso que suas ações de penetração e de lubrificação são realmente superiores. Vantagens adicionais: não tóxico, não cancerígeno e não propagador de chama.

Para usar esse produto, siga rigorosamente as instruções do fabricante.

substituição

Se depois de todos os procedimentos e esforços empenhados para recuperar a operação normal dos conectores os mesmos ainda não mostram sinais de renovação, então é chegada a hora de substituir esses que itens que, podemos concluir, chegaram ao fim de suas vidas úteis.

Substitua cada conector sempre pelo mesma marca e modelo, exceto quando o original for, sabidamente, de baixa qualidade ou, mesmo sendo de qualidade apresenta problemas como o

distanciamento de seu para na série triboelétrica.

10.5.5.3 Soldas e Soldagens prólogo

Depois de mais de quarenta anos soldando componentes eletrônicos, ainda continuo me deparando com situações um tanto ou quanto constrangedoras. Quando encontro técnicos experientes, e mesmo engenheiros eletrônicos com anos de janela que, numa bancada, mostram pouca habilidade para soldar manualmente. Por entender que isso acontecia por falta de prática, resolvi pesquisar um pouco para descobrir as causas desse admirável fenômeno. Até porque já tinha algumas plataformas para desenvolver um mínimo de investigações, incluindo nelas o Curso de Áudio Profissional, de imersão e com duração de 4 dias.

Depois de muito pouco tempo alguns motivos começaram a se mostrar evidentes. O principal deles pareceu ser um certo desconhecimento do próprio processo de soldagem. A seguir, um desconhecimento similar, mas agora, das ferramentas utilizadas na soldagem. Naturalmente, sem esses fundamentos sequer é possível escolher as ferramentas mais adequadas que devem ser utilizadas em cada caso. Ora, tampouco é possível obter as condições necessárias para fazer soldas realmente confiáveis e de qualidade.

Ao longo de pouco tempo já tinha uma expressiva coleção de anotações. Graças ao computador, metodicamente organizadas. Foi quando percebi que aquilo era uma coluna dorsal consistente de documento capaz de reunir as principais informações que, em minha opinião, poderiam ajudar muito a técnicos e engenheiros como os que me referi anteriormente.

Assim, este Boletim Técnico série Rumo Certo é dedicado à discussão dos tópicos mais importantes relacionados com os procedimentos da solda manual utilizada em eletrônica.

o que é solda

Vamos definir a solda manual, utilizada em eletrônica, como um processo capaz de unir partes metálicas com o uso de uma liga, também metálica, de baixo ponto de fusão. Essa liga é fundida junto às partes a serem unidas.

O cobre, a prata e o ouro são exemplos de metais que podem ser soldados com facilidade. Mas alguns metais apresentam considerável dificuldade para a solda.

O método de solda mais comum exige o emprego de um ferro de soldar e da solda. A solda, que é uma liga de estanho e chumbo, geralmente tem a forma de um fio fino no interior do qual há uma substância chamada fluxo. O fluxo mais comum é a resina de breu.

A solda não é apenas uma liga metálica de baixo ponto de fusão. E é menos ainda uma cola metálica e brilhante. Ao contrário, estamos falando de uma liga que se combina metalurgicamente com as superfícies metálicas a serem unidas para formar camadas intermetálicas. São exatamente essas camadas intermetálicas que constituem a ligação

mecânica das partes unidas, e as correspondentes conexões elétricas.

A formação das camadas intermetálicas depende crucialmente do tempo de duração da soldagem combinado com a temperatura com que ela é feita. Por sua vez, o tempo de duração da soldagem e a temperatura com que ela é feita são fatores que dependem do ferro de solda utilizado, de sua manutenção, das características da solda e das técnicas de soldagem empregadas. Atenção para a figura 10.31.

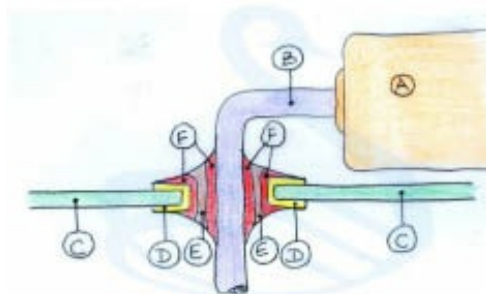


figura 10.31 representação de terminal de componente eletrônico soldado em circuito impresso
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O desenho representa a soldagem de um terminal de
componente eletrônico numa placa de circuito impresso. A é o componente, na cor marrom clara, e B
seu terminal, na cor violeta clara.

A placa de circuito impresso, na cor verde, é representada pela letra C. A camada de cobre que reveste o furo da placa de circuito impresso, na cor amarela, é representada pela letra D. A solda, na cor marrom, é representada pela letra E. As camadas intermetálicas, pintadas na cor vermelha e representadas pela letra F, estão claramente dispostas ao longo do terminal metálico do componente e das paredes de cobre que revestem o furo.

Para entender um pouco melhor a camada intermetálica, vamos pensar nela como uma fase homogênea de dois ou mais metais. Essa camada se forma imediatamente antes, durante e após o processo de soldagem. A formação da camada intermetálica é invariavelmente precedida pela dissolução, assim entendidas as mudanças químicas que ocorrem enquanto o material passa do estado sólido para o líquido.

Portanto, podemos definir camada intermetálica como um composto de dois ou mais elementos químicos metálicos, cuja relação das quantidades de átomos é rigorosamente constante.

Nas soldas das quais estamos tratando neste Boletim Técnico série Rumo Certo, a camada intermetálica mais comum é a estanho-cobre. Ela forma-se a partir do estanho provido pela solda e do cobre provido pelas trilhas de circuito impresso ou terminais de componentes e de conectores. Enquanto a solda é aquecida, o estanho e o cobre se dissolvem para constituir a camada intermetálica, sempre muito homogênea, com 6 átomos de cobre e 5 de estanho (Cu₆Sn₅). A espessura típica da camada intermetálica é 2 µm. Qualquer camada intermetálica é mecânica e eletricamente muito estável, assegurando excelente conexão elétrica entre todas as partes soldadas.

Bem, creio que essas informações e a figura 1 são suficientes para dar uma ideia mais profunda da morfologia da soldagem manual.

O resultado da soldagem manual bem executada é um ponto de solda com aparência suave, muito limpa e de brilho acentuado. Os pontos de solda devem estar totalmente isentos de aparas, de cavacos microscópicos e mesmo de indícios de formação de bolhas.

Também não são aceitáveis quaisquer evidências de falhas de mão de obra, especialmente a presença de cantos pontiagudos. As superfícies unidas devem ficar rigorosamente firmes. Uma conexão de solda bem feita mostra-se sempre rigorosamente limpa e sem sinais de agentes químicos estranhos eventualmente utilizados no processo.



figura 10.32 características visuais de uma solda bem executada acervo do engº Luiz Fernando O.

Cysne Uma das características que mais denotam a solda de qualidade é a aderência da solda às superfícies soldadas. O que é mera consequência da formação das camadas intermetálicas discutidas acima. A solda deve formar ângulos moderados e suaves, o que indica claramente a liga metalúrgica completa e a continuidade metálica e elétrica entre a superfície soldada e a solda, e vice-versa. Como bem ilustra a figura 10.32.

Qualquer pessoa pode aprender a soldar. Entretanto, é preciso observar algumas regras elementares para evitar erros, especialmente os de maior envergadura. A prática é essencial para desenvolver o domínio motor necessário e o reconhecimento visual firme e necessário para discernir um trabalho aceitável de outro inaceitável.

Muitos sustentam que aprender a soldar é como aprender a andar de bicicleta.

Isto é, leva-se algum tempo para chegar lá. Mas depois que se sabe, não há como esquecer.

Os trabalhos de solda tratados neste Boletim Técnico série Rumo Certo são orientados para as instalações de sistemas de áudio e de vídeo. Assim, as categorias cobertas são: solda de conectores em cabos, soldas de componentes em placas de circuito impresso e outras formas de soldagem, a exemplo de emendas.

Para efeito de conhecimento, vamos subdividir o processo de soldagem nas seguintes etapas: preparação, soldagem e limpeza final.

E esses tópicos são discutidos adiante.

Conhecer todos os recursos vitais para a prática da boa soldagem é indispensável por muitas razões. A principal delas é para permitir que todos os itens possam ser selecionados adequadamente para cada aplicação e para cada tipo de soldagem.

Então, vejamos separadamente cada um desses recursos.

recurso 1 - ferro de soldar O ferro de soldar é o utensílio mais importante de todos os

empregados no processo de soldagem.

Essa ferramenta elétrica é formada pelo corpo tubular, ou cabo, pela resistência elétrica que fica no interior do corpo, pela ponteira, montada na extremidade de trabalho do ferro, e pelo cabo de alimentação, que sai da extremidade oposta.

A figura 10.33 mostra alguns ferros de soldar típicos.



figura 10.33 coletânea de ferros de soldar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As principais características dos ferros de soldar são: alimentação, wattagem e temperatura.

recurso 2 – fonte de alimentação A maioria dos ferros de soldar é alimentado a partir das tomadas comerciais de energia, 110 ou 220 volts CA, 60 Hz. Mas também há ferros de solda alimentados por fontes que convertem energia CC em energia CA, geralmente de voltagens relativamente reduzidas. Também há ferros alimentados por baterias. E até os que são alimentados por gás.

Os ferros que trabalham energizados a partir de 110 ou 220 volts CA são os mais recomendados para trabalhos profissionais, em razão de sua maior capacidade de reter calor.

A particular voltagem de alimentação a ser escolhida vai depender da voltagem disponível no local de instalação. O instalador experiente está sempre preparado para quaisquer eventualidades. E portanto, possui ferros com as duas voltagens, ou transformadores, para que os ferros possam ser alimentados tanto por 110 volts CA quanto por 220 volts CA.

recurso 3 - wattagem

A tabela 10.6 abaixo estabelece as wattagens mais comuns dos ferros encontrados no mercado brasileiro. Quanto mais watts maior é o consumo elétrico do ferro e mais elevada a corrente elétrica que flui pela resistência.

tabela 10.6

WATTS	15	20	30	40	50	75	100	150	200
POTÊNCIA	baixa			média			alta		

Vamos pensar juntos no processo de troca de calor do ferro de soldar.

Tomemos o exemplo do chuveiro elétrico. Abrimos a água e, de início, sentimos que ela sai fria. Aos poucos, a temperatura vai aumentando até que ela atinge a um certo valor, limite. Como esse limite é mantido ao longo de todo o banho, sem aumentar nem diminuir, é chamado

valor de temperatura de regime.

Algo semelhante acontece com o ferro de soldar.

Inicialmente, quando o ligamos, o ferro está frio. Mas sua temperatura vai aumentando gradativamente até atingir um grau que não aumenta mais. Nem reduz com o tempo. Essa é a temperatura de regime do ferro.

Se não usamos o ferro, mas o mantemos ligado, a temperatura de regime é mantida. Precisamos entender que, mesmo mantendo a temperatura de regime, o ferro fica constantemente perdendo calor para o ar, cuja temperatura é muito inferior à do ferro.

Constatamos essa troca de calor ao aproximar nossa mão do ferro.

Ora, o calor perdido para o ar é repostado integralmente e em tempo real pela fonte de energia que alimenta ao ferro.

Entretanto, nossa maior preocupação é durante o processo de soldagem.

Com efeito, quando o ferro é utilizado numa soldagem, a perda de calor é muito intensa e acontece quase que instantaneamente.

Desse modo, a reposição não ocorre mais em tempo real. O desejável é que a reposição possa ocorrer integralmente num período de tempo muito curto. Quanto mais curto, melhor. Esse período vai depender de algumas características do ferro, inclusive de sua wattagem.

Agora vamos conceituar duas taxas.

A taxa de demanda de calor é a quantidade de calor que o ferro entrega por unidade de tempo durante o processo de soldagem. Portanto, quanto mais calor o ferro pode fornecer e quanto menor é o tempo de fornecimento, maior é a taxa de demanda.

A outra taxa é a de reposição de calor. Que é a quantidade de calor que o ferro é capaz de recuperar por unidade de tempo, imediatamente após ter perdido calor no processo de soldagem.

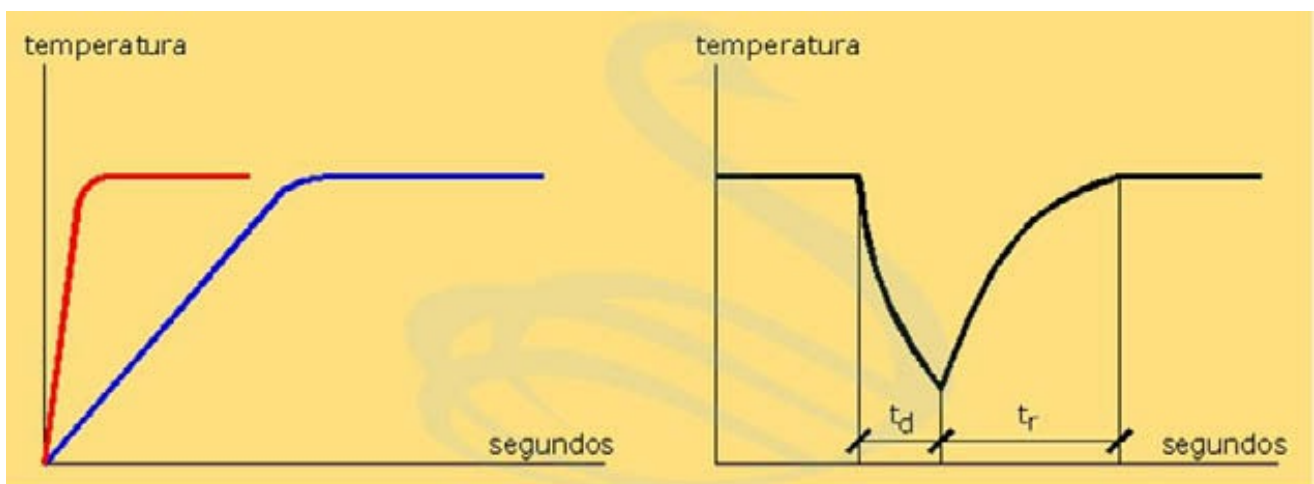


figura 10.34 à esquerda, ferro de soldar que atinge muito rapidamente sua temperatura de regime (curva vermelha) e outro, que demora muito mais para chegar na mesma temperatura, à direita, curva representativa da perda de calor do ferro de soldar durante o processo de soldagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.34 mostra algumas facetas do processo de troca de calor num ferro de soldar.

Do lado esquerdo da figura estão as curvas hipotéticas que representam o quanto tempo dois ferros demoram para atingir suas temperaturas de regime a partir do momento em que são ligados. A curva vermelha seria a de um ferro que atinge muito rapidamente sua temperatura de regime.

A curva azul mostra um ferro que já demora bem mais que o anterior para chegar à sua temperatura de regime.

Do lado direito da figura uma representação da perda de calor durante o processo de soldagem. Vemos os tempos t_d e t_r , que representam respectivamente o tempo de demanda e o tempo de reposição.

Pois bem, o engano mais comum que se comete ao pensar na wattagem é imaginar que quanto mais elevada é essa figura maior é a temperatura de regime do ferro.

O que não é verdade. O que realmente ocorre é que quanto maior é a wattagem mais rapidamente o ferro tende a armazenar energia. Lembrando a curva vermelha na parte esquerda da figura 10.34. Essa é a razão principal pela qual ferros de wattagem mais elevada são mais indicados para trabalhos com maiores superfícies a soldar.

De fato, quanto maior a superfície a soldar maior é a demanda instantânea de calor. E conseqüentemente, aumenta a necessidade de uma maior velocidade de reposição do calor dissipado no processo. A utilização de ferros de baixa wattagem em trabalhos com grandes superfícies a soldar apresenta a tendência do ferro perder rapidamente sua temperatura sem ter a capacidade de recompor a tempo o calor perdido. Em outras palavras, a taxa de demanda tende a ser superior à taxa de reposição.

Por outro lado, é preciso observar que ferros de wattagem mais elevada utilizados em serviços mais delicados é prática indesejável, uma vez que isso costuma danificar irreversivelmente as partes a soldar.

Voltando a nossas categorias de serviço de solda, a soldagem de conectores nos terminais dos cabos usualmente exige ferros de 40 a 75 watts.



figura 10.35 ferros de soldar com wattagens de 20, 30, 40, 60 e 80 watts acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Já as soldagens de componentes nas placas de circuito impresso resultam melhores com a utilização de ferros de 15 a 30 watts.

Outras formas de soldagem podem exigir ferros com quaisquer wattagens, dependendo exclusivamente do tipo de serviço a ser executado.

Os ferros de wattagem mais elevada, como 100 ou 200 watts, são recomendados para

soldagens envolvendo chassis metálicos.

Como ilustra a figura 10.35, quanto maior é a wattagem maior tende o tamanho físico do ferro.

A figura 10.36 dá uma ideia de como pode ser fisicamente um ferro de solda de altíssima wattagem.



figura 10.36 ferro de soldar de potência muito elevada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Muitas pessoas preferem usar pistolas de solda, como a da figura 10.37.

Entretanto pessoalmente recomendo que pistolas assim não sejam usadas. Há vários motivos para essa recomendação, a começar pela maior dificuldade de se manter a ponteira em condições adequadas para a soldagem. Mas também pesa muito o fato de, ao contrário dos ferros convencionais, haver passagem de corrente elétrica pela ponteira da pistola por todo o tempo em que ela estiver ligada. O que pode acabar lesando certos componentes.



figura 10.37 típica pistola de solda cortesia Weller

recurso 4 - temperatura As especificações dos ferros de soldar informam a máxima temperatura operacional de cada modelo, que dificilmente ultrapassa os 450°C.

Existem ferros de soldar com e sem controle de temperatura.

O elemento que produz calor em qualquer ferro de soldar é a resistência elétrica. Que transforma energia elétrica em calor. Como num chuveiro. A resistência dos ferros convencionais resume-se a um fio resistivo enrolado em forma de hélice sobre um tubo oco de mica. Essas resistências, cujos preços são invariavelmente muito baixos, não oferecem nenhum controle de temperatura. Por isso mesmo, eles não são recomendados para trabalhos em instalações profissionais. Com efeito, a recomendação é sempre para ferros com controle de temperatura.

Há três tipos de ferros com controle de temperatura mais empregados em trabalhos eletrônicos: ferros com controle de temperatura na ponteira, ferros com controle de temperatura por resistência cerâmica e ferros com controle de temperatura externo.

Quando se possui um ferro com temperatura controlável, é sempre recomendado iniciar os serviços com temperatura entre 315 e 345 °C. A temperatura terá sido bem escolhida se for possível completar uma soldagem entre 1 e 3 segundos. Se isso não ocorrer, aumente a temperatura até que seja possível efetuar a soldagem no intervalo de tempo mencionado.

ferros com controle de temperatura na ponteira Esses ferros são equipados com um regulador interno embutido na ponteira, que impossibilita ao ferro ultrapassar um limite de temperatura pré determinado. Para esse tipo de ferro, há varias ponteiros disponíveis, cada qual para uma temperatura limite, até cerca de 450°C. Imagine um desses ferros com ponteira para 300°C. Uma vez ligado, o ferro vai aquecer até atingir os 300°C. Quando então se desliga automaticamente. Diante de qualquer demanda de calor o ferro é “religado” novamente.

Num certo sentido esse tipo de ferro é bastante fácil de usar. Mas muitos profissionais experientes preferem estabelecer, eles próprios, os limites de temperatura para cada tipo de trabalho a ser realizado.



figura 10.38 ferro de soldar com controle de temperatura na ponteira acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.38 ilustra um ferro de soldar com controle de temperatura na ponteira.

Outra desvantagem desse tipo de ferro é que ele é um contumaz causador de “soldas frias”. Defeito esse que pode ser causado por dois motivos. O primeiro é a própria limitação no controle da temperatura, que muitas vezes impede que a solda seja integralmente derretida. O segundo motivo é a taxa de fornecimento de calor maior do que a taxa de reposição de calor.

Eis porque o controle de temperatura na ponteira de alguns ferros, exercido por sensores de temperatura, pode ser desligado. Portanto, quando não se tem outra opção de ferro, é conveniente certificar que haja ao menos alternativa de escolha de ferros com wattagens diferentes. Então, deve-se escolher um ferro com wattagem um pouco acima do valor recomendado como figura ideal. Algo com um excesso de 20 a 40% em watts.

ferros com controle de temperatura por resistência cerâmica A segunda forma de controle de temperatura dos ferros de soldar é empregando resistência cerâmica. Essas resistências são feitas de um composto cerâmico com características de aquecimento de altíssima eficiência. Assim elas produzem temperatura muito consistente usando bem menos energia elétrica do que as resistências convencionais de fio e mica.

A principal característica da resistência cerâmica é sua capacidade de reaquecer com grande energia em períodos de tempo realmente muito reduzidos. Isto é, intrinsecamente, elas apresentam uma taxa de reaquecimento muito elevada. E a partir disso reduzem o consumo de

energia elétrica. Inclusive durante o procedimento de soldagem.

A figura 10.39 ilustra uma resistência cerâmica.



figura 10.39 resistência cerâmica especialmente desenvolvida para ferros de soldar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra grande vantagem das resistências cerâmicas é que elas atingem sua temperatura de regime em menos de 60 segundos.

Pessoalmente, entendo que os ferros de soldar com resistência cerâmica são os melhores entre todos os que oferecem controle de temperatura. E penso assim por julgar que esses ferros mantêm melhor a temperatura da ponteira por quaisquer períodos de tempo considerados, praticamente sem problemas de falta de calor. Especialmente quando ele é mais necessário.

Além das vantagens discutidas, as resistências cerâmicas são muito flexíveis, podendo ser empregadas com as estações de solda analisadas a seguir.

ferros com controle de temperatura externo



figura 10.40 estação de solda com descanso separado cortesia Weller

As unidades externas de controle de temperatura dos ferros de soldar também são chamadas estações de solda. Isto porque essas unidades são geralmente separadas e os ferros são eletricamente plugados nelas. Como mostra a figura 10.40, as estações de solda são relativamente pequenas e se caracterizam pela facilidade de uso. Além disso, o preço delas é geralmente bastante acessível. Esses dispositivos funcionam de forma semelhante a um dimmer de luz.

A maioria das estações de solda possui um knob giratório de controle. Girando o knob no sentido horário fazemos com que o ferro receba maior quantidade de energia elétrica. E o movimento no sentido anti-horário provoca o efeito inverso. Com isso, a ponteira acaba estabilizando com maior ou menor temperatura, respectivamente. O que possibilita que controlemos a temperatura de regime pelo simples acionar de um knob.

Uma das vantagens de se utilizar uma estação de solda é que, assim, torna-se totalmente dispensável trocar as ponteiros para se trabalhar com esta ou aquela temperatura. E essa

vantagem aparece de fato quando estamos trabalhando com soldas de diferentes metais e diferentes tamanhos de superfícies a soldar. Assim, muitos entendem que a melhor alternativa de estação de solda é utilizar uma para não menos do que 100 watts, condição que permite trabalhar com uma ampla gama de aplicações sem prejuízo de qualquer trabalho.

Uma vez que com as estações de solda o fluxo de energia para a ponteira não é interrompido nunca, com elas, dificilmente serão encontrados pontos de solda fria.

Há inúmeras combinações de estações de solda com características de ferros de soldar que ampliam a escolha dos profissionais. Geralmente as estações de solda já são fornecidas com um ou mais ferros de soldar. Jamais plugue um ferro de soldar a uma estação de solda, a menos que os fabricantes dos dois componentes especifiquem claramente que ambos são compatíveis. Além do controle externo verdadeiro, ou estação de solda, há uma forma de controle de temperatura, chamado controle interno. Esse controle pode ser inibido ou ativado por meio de um knob existente no cabo do ferro, como ilustra a figura 10.41.



figura 10.41 ferro de soldar com controle de temperatura acionado no corpo da ferramenta acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne ponteiros

A ponteira, que fica na extremidade de trabalho do ferro, tem duas funções: armazenar o calor produzido pela resistência e conduzir o máximo possível desse calor para a superfície de trabalho da ponteira. Portanto, uma vez que o calor tenha sido acumulado na superfície de trabalho da ponteira, ele deve ser transferido para as superfícies que se quer soldar.

Vemos, portanto, que uma das características mais importantes de uma ponteira é a elevada capacidade de condução de calor. De fato, quanto mais elevada for essa capacidade, mais rapidamente o calor pode ser transferido para as superfícies a soldar.

O fator mais importante que determina o tempo de formação das camadas intermetálicas é a capacidade de transferência de calor da ponteira do ferro para as superfícies a soldar.

Em razão da elevada condutividade térmica do cobre e de várias de suas ligas, a maioria das ponteiros é feita de cobre ou de uma dessas ligas.

Mas neste ponto cabem alguns comentários. O cobre é um metal solúvel no estanho, que é o material da solda. Assim, se a ponteira fosse totalmente de cobre, sua vida útil seria bastante limitada. Por isso, praticamente todas as ponteiros são revestidas com uma camada de ferro. Embora o ferro também seja solúvel no estanho, seu grau de solubilidade é muito inferior ao do cobre. O que é suficiente para prolongar muito a vida útil da ponteira. Ocorre que o ferro oxida muito rapidamente. Fenômeno que é acelerado com o metal é aquecido. Além disso, a característica de conduzir calor do material ferro é muito inferior que o desejado para uma ponteira de ferro de solda. Por essas duas razões, a camada de ferro das ponteiros deve ser

bem fina. E para evitar a solubilidade do metal, a maioria das ponteiros usa uma ou mais camadas metálicas sobre a camada de ferro, com metais como o níquel, o cromo e outros.

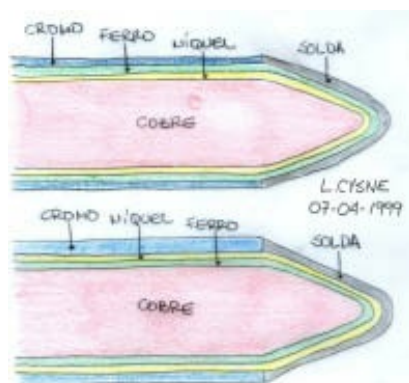


figura 10.42 diferentes técnicas de produção de ponteiros de ferros de soldar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.42 mostra duas técnicas de produção das ponteiros, evidenciando todas as camadas metálicas que revestem o substrato de cobre. Nessas figuras, o substrato de cobre é o núcleo da ponteira representado pela cor vermelha. A cor amarela representa o níquel. O verde representa o ferro e a cor azul foi reservada para o cromo. A solda, que fica em estado de fusão na extremidade da ponteira é indicada com a cor cinza.

As camadas de ferro, de níquel, de cromo, e eventualmente outras, utilizadas de acordo com cada tecnologia empregada, criam uma forte barreira entre o substrato de cobre e a solda fundida, com a finalidade de prolongar a vida útil da ponteira. Outra função dessas camadas é evitar que a solda se espalhe além das superfícies de trabalho nas extremidades das ponteiros.

As características de transferência de calor da ponteira para as superfícies a soldar e a capacidade de aquecimento da resistência elétrica determinam a eficiência do ferro.

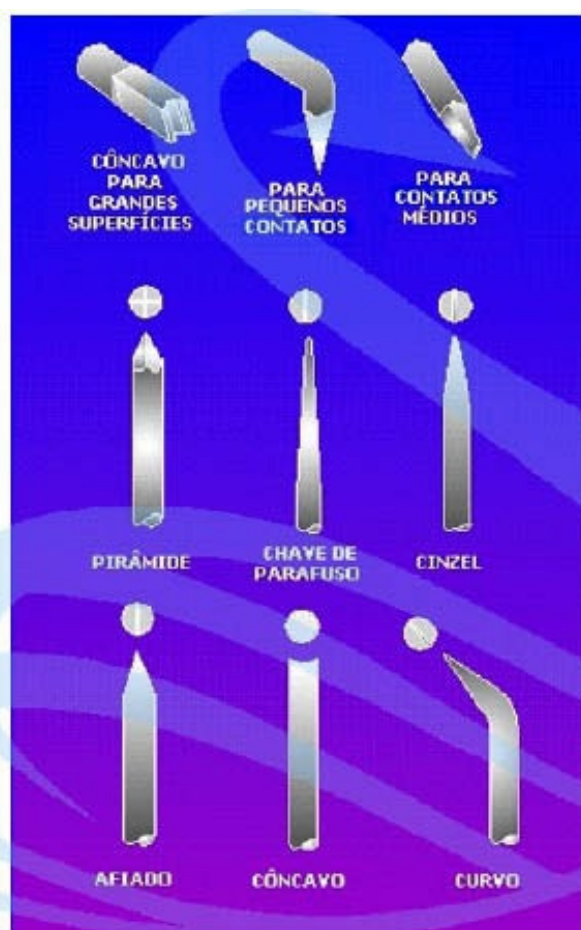


figura 10.43 algumas formas geométricas das pontas dos ferros de soldar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A massa física da ponteira e sua forma geométrica também afetam o desempenho da

soldagem. Com efeito, o comprimento e o tamanho da ponteira estabelecem sua capacidade de fluxo de calor, porquanto seu formato físico determina a qualidade da transferência de calor da ponteira para as superfícies a soldar.

Por essas razões as ponteiros são fabricadas numa grande variedade de formatos físicos e de tamanhos. A intenção é disponibilizar sempre uma forma apropriada de ponteira para cada tipo de trabalho a ser feito.

As formas geométricas mais comuns de ponteira são a cônica, a chave de parafuso, a chave philips, o cinzel, a piramidal e a chanfrada, além de muitas outras.

A figura 10.43 mostra algumas dessas formas.

Vimos antes que a otimização da transferência de calor da ponteira para a área de trabalho depende da massa da ponteira, que por isso mesmo deve ser a maior possível. Logo, ao escolher uma ponteira para seu trabalho, opte pelo maior diâmetro possível e pelo menor comprimento disponível. Sim, porque menores comprimentos reduzem o alcance da ponteira, facilitando a transferência de calor.

Os diâmetros reduzidos e grandes comprimentos ficam reservados para trabalhos com acesso muito difícil. Muitos entendem que o tópico mais importante quando da escolha da ponteira é sua forma geométrica. Acima de tudo, essa escolha deve ser feita de modo que a área de contato entre a superfície de trabalho da ponteira e as áreas a soldar seja a maior possível. A figura 10.44 oferece algum subsídio nesse sentido. E a figura 10.45 mostra algumas ponteiros com formatos diferentes.



figura 10.44 tamanho das pontas dos ferros de soldar e respectivas áreas de contato acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 10.45 ponteiros de ferro de soldar com formas geométricas especiais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A ponteira A é chanfrada e tem diâmetro mediano. A foto B mostra uma ponteira cônica, muito comum. Em C outra ponteira chanfrada, mas agora de menor diâmetro do que a ponteira da foto A. A foto D mostra um formato de chave de parafuso e a foto E é um formato de chave philips.

descanso

As estações de solda já incorporam descansos para os ferros. Mas quando não se usa uma dessas estações é preciso utilizar um descanso separado. Como o ilustrado na figura 10.46.



figura 10.46 descanso para ferro de soldar das mais simples que o mercado oferece acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O rebaixo central na base do descanso destina-se a abrigar uma esponja, cuja finalidade veremos logo adiante.

solda

Usualmente a solda é uma liga metálica que ao ser fundida une as superfícies metálicas que se quer soldar. As ligas mais comuns são combinações de estanho com chumbo. Cada combinação diferente apresenta seu próprio ponto de fusão.

A gráfico da figura 10.47 mostra diferentes pontos de fusão para ligas com diferentes proporções de estanho e chumbo. Na escala horizontal superior, o primeiro número indica a proporção de estanho e o segundo a proporção de chumbo. A parte inferior da figura com cor mostarda representa a solda em estado sólido. A parte branca representa a solda em estado plástico e, finalmente, a parte azul representa a solda em estado líquido. Portanto, o ponto de fusão é representado pelos limites entre as cores brancas e azul. A solda com ponto de fusão mais baixo é a 63/37, isto é, a liga que contém 63% de estanho 37% de chumbo.

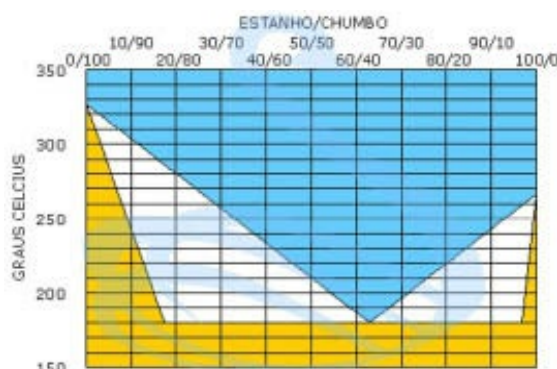


figura 10.47 temperatura de fusão da solda versus proporção de estanho e chumbo na composição química acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O ponto de fusão da solda é muito importante já que há uma relação determinada entre tempo e temperatura na formação da camada intermetálica da soldagem. Por exemplo, a figura 17 mostra que a solda com 60% de estanho e 40% de chumbo funde a cerca de 185°C. A maioria das ligas metálicas das superfícies a soldar fundem entre 260 e 315°C.

A espessura apropriada das camadas intermetálicas é formada nessas temperaturas, tipicamente de 0,25 a 0,75 segundo.

Por outro lado, normalmente decorre um tempo entre 0,20 e 0,80 segundo para que as partes a soldar atinjam aquelas temperaturas.

Logo, em condições normais de trabalho, e para casos comuns de soldagem manual, o tempo ideal de cada operação varia entre 0,50 e 1,50 segundo. A solda mais comum encontrada no mercado de varejo tem a forma de um arame muito dúctil, enrolado sobre um carretel. Para os trabalhos abordados neste trabalho, a embalagem mais apropriada provavelmente é a de carretéis contendo 500 gramas de solda, como ilustra a parte inferior da figura 10.48.



figura 10.48 carretéis com fio de solda – na parte inferior os carretéis são de 500 gramas cada um cortesia Multicore Outro aspecto a considerar quando da escolha da solda é o seu diâmetro.

Naturalmente, o diâmetro da solda guarda uma certa proporção com o tamanho da extremidade da ponteira.

Quanto menor é o diâmetro da solda mais facilmente ela derrete. Um engano clássico é pensar que, só por essa razão, os menores diâmetros devem ser escolhidos para quaisquer trabalhos. De fato, trabalhos envolvendo grandes superfícies a soldar exigem quantidades significativas de solda. E obtê-las a partir de soldas com pequenos diâmetros leva sempre muito tempo, durante o qual o ferro permanece fazendo contato com as superfícies a soldar. E esta é uma causa comum de danos ocorridos durante a soldagem.

É recomendável que se disponha ao menos de três ou quatro diâmetros de solda. Encontram-se no mercado soldas com diâmetros variando de 0,5 a 2,0 mm. Os diâmetros mais comuns são 0,5 mm, 0,8 mm e 1,0 mm.

Assim, para escolher o diâmetro da solda, lembre-se que, de um lado, diâmetros muito reduzidos provocarão aplicação prolongada do ferro ao trabalho e, conseqüentemente, aquecimento excessivo. De outro lado, diâmetros muito grandes farão com que haja excesso de solda em cada ponto de trabalho.

Eis porque é importante escolher o diâmetro ideal da solda. Prefira diâmetro igual ao diâmetro do fio ou do terminal a ser soldado. Caso não encontre exatamente a medida desejada, escolha a medida disponível imediatamente superior à ideal.

Quem escolhe o diâmetro da solda dessa maneira consegue trabalhar com o menor tempo de fusão possível, e ainda consistente com o suprimento da quantidade de solda necessária.

fluxo

Limpeza certamente é uma palavra chave quando o assunto é soldagem.

A grande maioria dos metais que se pretende soldar têm a característica de oxidar rapidamente quando expostos ao ar.

Por outro lado, soldas não percorrem metais oxidados ou sujos.

É por essa razão que metais a soldar, terminais de componentes e de conectores, bem como extremidades de fios cortadas e expostas devem estar protegidas contra a oxidação e contra a ação de fuligem, de restos de alimentação, de fumaças ácidas, de loções para as mãos, de óleo de máquina, de óleo da pele humana, de silicones e de tantos outros agentes contaminantes. Todas essas impurezas prejudicam muito a qualidade da soldagem final obtida, quando não a impossibilitam. É nesse contexto que se insere o fluxo com seu papel muito importante. Uma vez que as soldagens usualmente são executadas em ambientes não controlados, haverá sempre a presença de uma certa quantidade de contaminantes no ambiente onde o trabalho é efetuado. O fluxo tem a tarefa de limpar quimicamente as superfícies a soldar antes que as camadas intermetálicas se formem.

O fluxo ocupa a parte mais central das soldas em forma de arame. Assim, há fluxos feitos de um só filete, com dois e com três filetes, denominados monofluxo, bifluxo e trifluxo, respectivamente. Como ilustram as seções transversais da figura 10.49.



figura 10.49 da esquerda para a direita: monofluxo, bifluxo e trifluxo acervo do engº Luiz Fernando O.

Cysne Os fluxos caem em duas categorias principais: à base de breu e os solúveis em água. Vale esclarecer que os fluxos propriamente ditos não são solúveis em água, mas sim os seus resíduos.

fluxo de breu

O breu utilizado na composição desse tipo de fluxo é extraído da seiva do pinho.

O produto já purificado é denominado água branca de breu. Os ingredientes ativos deste produto são vários tipos de ácidos orgânicos, a exemplo do ácido abiótico. Mas para aumentar a habilidade de limpeza e a capacidade de remover óxidos, outros elementos ativos podem ser adicionados à água branca de breu.

Um solvente com baixo ponto de fusão, como o isopropanol, pode ser utilizado como veículo capaz de reduzir a temperatura de fusão do fluxo.

Os fluxos de breu pertencem a três categorias principais: R, RMA e RA.

Os da categoria R são os menos ativos e, por isso mesmo, recomendados para trabalhos onde a limpeza posterior é difícil ou impossível, já que praticamente não ficam resíduos.

Os fluxos da classe RMA contêm poucos aditivos, deixando um mínimo de resíduos. Entretanto, esses resíduos não são corrosivos e ficam praticamente livres de contaminação iônica após a limpeza final.

A classe RA reúne os fluxos mais ativos. Logo, os que deixam mais resíduos. Essas três classes, R, RMA e RA são as únicas que recomendo para trabalhos de solda em sistemas profissionais de áudio.

fluxo solúvel em água

Essa natureza de fluxo é subdividida em duas categorias: fluxos com base orgânica e com base inorgânica.

Os fluxos orgânicos são mais ativos do que os de breu da classe RA, e os inorgânicos são os mais ativos de todos os fluxos.

a escolha do fluxo

A escolha do fluxo mais indicado para cada caso depende do tipo de placa e/ou componente que se pretende soldar e da densidade das conexões. Pode-se ter mais conteúdo sólido no fluxo para trabalhos mais simples e menos para os mais complexos. O método de montagem dos componentes é outro fator a considerar. O motivo está relacionado com a dificuldade de se fazer a limpeza após a soldagem.

Também é preciso levar em conta na escolha o fator facilidade da solda em relação aos metais que deverão ser soldados. Em princípio, há metais que soldam facilmente. Mas também há os que apresentam graus variáveis de dificuldade de união. Alguns metais apresentam excelente resistência à corrosão, como o aço inoxidável. Porém, esses mesmos metais exigem fluxos muito ativos.

Compatibilidade dos materiais é nosso próximo fator.

Os fluxos acabam produzindo componentes alógenos e fumaças de amônia. Ocorre que muitos materiais não são compatíveis com esses componentes. Em razão disso, são produzidos fluxos que não deixam esses materiais como resíduos.

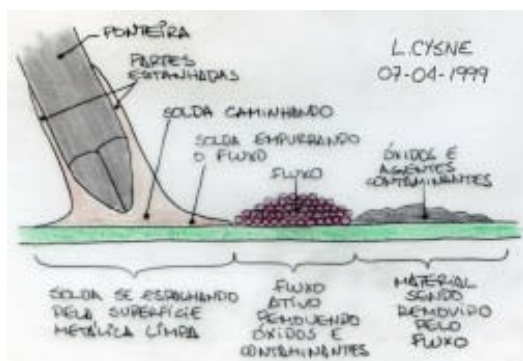


figura 10.50 limpeza promovida pelo fluxo durante o processo de soldagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O último fator a considerar é o método de soldagem. Para trabalhos manuais usuais os fluxos recomendados são os contidos nos centros das próprias soldas.

A figura 10.50 ilustra a ação de limpeza promovida pelo fluxo durante o processo de soldagem.

Do lado esquerdo da figura está a superfície de trabalho da ponteira, na cor cinza, já contendo a solda fundida, em marrom claro. A superfície de contato está em verde, acima da qual a solda se espalha pela parte já limpa. O fluxo em seu caminho de limpeza é representado na cor vinho. Na cor chumbo, à direita do fluxo, está a sujeira já “varrida” pelo fluxo.

considerações sobre a limpeza pós soldagem Uma vez terminada a soldagem é absolutamente indispensável efetuar a limpeza dos contaminantes e dos resíduos que restam em cada ponto trabalhado. Principalmente porque esses contaminantes e resíduos podem provocar curtos e causar corrosões. O que é especialmente verdadeiro para os resíduos iônicos.

Para efetuar a limpeza dos pontos trabalhados e remover os resíduos pode-se usar um

solvente limpante apropriado ou agentes de limpeza à base de água. A mistura de solventes polarizados e não polarizados é sempre recomendada porque elas têm a capacidade de dissolver resíduos de fluxo de breu e ativadores iônicos. E portanto, de removê-los. Agentes de limpeza à base de água envolvem o uso de ingredientes biodegradáveis capazes de saponificar os resíduos do breu para formar um líquido solúvel. Ao mesmo tempo, os resíduos iônicos são dissolvidos na água. Os fluxos solúveis na água, tanto os orgânicos quanto os inorgânicos, exigem agentes limpantes à base de água. Há uma grande variedade de fluxos disponíveis no mercado. Doravante, com a impossibilidade de se usar solventes clorinados e agentes como o CFC, os agentes de limpeza para soldagem vão se tornar cada vez mais importantes.

corrosão

Não se pode ignorar totalmente os efeitos corrosivos dos fluxos. Alguns metais estão sujeitos a um tipo especial de corrosão, chamada corrosão intergranular, que resulta de sua exposição aos vapores de amônia e de alguns ácidos.

O alumínio também está sujeito ao ataque de ácidos alógenos e soluções alcalinas.

cadinho



figura 10.51 cadinho para tipos muito específicos de soldagens cortesia Madell Technology Corporation Quando se quer estagnar muitos terminais de fios e/ou cabos, uma excelente alternativa é usar um pequeno cadinho, como o da figura 10.51.

outras ferramentas

O processo de soldagem exige um bom assortmento de ferramentas. As principais são as seguintes: • jogo de alicates incluindo bico fino, bico longo, bico chato, bico circular, alicate curso, alicate de corte diagonal, alicate de corte rente e alicate universal • jogo de chaves de fenda e philips • descascador automático de fios com várias ferramentas • descascador de cabo coaxial ajustável • sugador de solda

• cordoalha extratora de solda • lixas finas variadas • jogo de pinças com e sem retenção • lentes e óculos de aumento • morsas e clips tipo 3ª mão • material para limpeza de circuitos e de cabos Para soldar conectores nos terminais dos cabos é conveniente dispor de um conjunto completo de conectores, machos e fêmeas, todos fixados numa prancha de madeira. Essa ferramenta especial possibilita que o trabalho de soldagem seja feito muito mais facilmente, uma vez que o conector a ser soldado poderá ficar inserido no conector fixo do gênero oposto, instalado na prancha de trabalho. E assim, ele estará seguro sem ocupar as mãos de quem faz a solda.

Com esse mesmo objetivo, a prancha de trabalho pode ser construída de modo que tenha movimentos basculantes horizontal e vertical. O objetivo é possibilitar posicionar a prancha de trabalho na posição mais favorável possível do ponto de vista de conforto para soldagem, aí incluído o acesso físico, a visibilidade do trabalho, a passagem de luz, *etc.*

móveis e ergonomia

Os móveis para a execução da soldagem são os essenciais: mesa e cadeira.

Entretanto, é todo conveniente que a cadeira possa ser ajustada para a altura da pessoa que vai efetuar o trabalho, de modo que ela se sinta o mais confortável possível, sem quaisquer dificuldades de movimento. Algumas mesas próprias para serviços de soldagem possibilitam que o tampo seja basculado para facilitar ainda mais o posicionamento do indivíduo.

iluminação

Este é um tópico frequentemente menosprezado por quem efetua os serviços de solda. Mas é fundamental que a iluminação seja adequada para a soldagem. Neste caso, adequada significa nível de iluminamento não inferior a 2000 lux, com temperatura de cor da ordem de 4000°K.

Evidentemente, não pode haver qualquer sinal de sombra sobre a área de trabalho.

Muitas vezes se recomenda que a posição de trabalho inclua uma luminária própria, com muitos ajustes de movimento a fim de poder ajustar a iluminação a praticamente todas as condições de soldagem.

ventilação

Este é outro aspecto importante para quem solda, uma vez que o processo de soldagem

libera vários gases e vapores, alguns com certo grau de toxidez.

segurança

Ferros de soldar aquecidos e solda em estado de fusão podem provocar queimaduras de primeiro grau na pele humana. Pingos de solda desgarrados podem atingir olhos desprotegidos provocando perda de visão permanente.

Além disso, há inúmeras constatações de ferros de soldar que foram esquecidos ligados e acabaram provocando incêndios. Os cuidados que recomendo durante os trabalhos de soldagem são para a proteção dos olhos com óculos plásticos, a proteção da pele com aventais de manga comprida e o uso de luvas. As luvas não só protegem as mãos, mas também evitam que o óleo natural da pele seja transferido para as partes a soldar.

A luva recomendada para esses casos é a variedade comum, relativamente grossa, que se encontra em qualquer grande loja de bricolagem.

Fora esses aspectos, é de capital importância trabalhar com solda no limite da concentração e com o máximo cuidado possível.

O ideal é que se tenha um conjunto completo de EPI (Equipamento de Proteção Individual).

preparação geral

Depois de ter escolhido o ferro de soldar, a ponteira e a solda mais adequados para a natureza da soldagem a ser executada, e ter separado as ferramentas, é hora de iniciar a soldagem, começando com a organização do local de trabalho.

Organizar o local de trabalho significa ter a mesa, a cadeira e os demais itens do mobiliário limpos e livres de quaisquer objetos estranhos ao processo de soldagem. Como livros, caixas, papéis, materiais de papelaria, *etc.* Não esqueça de se certificar que a iluminação está dentro dos parâmetros discutidos acima.

Na sequência, todas as ferramentas que serão utilizadas no processo deverão estar posicionadas sobre a mesa de modo que sua manipulação seja fácil e segura. Isso inclui o ferro de soldar, com seu descanso isolado ou parte da estação de solda. Esse descanso deverá estar equipado com uma esponja úmida para a limpeza periódica da ponteira. Para manter a esponja úmida é recomendável que se tenha à mão uma bisnaga de água com um funil tipo conta-gotas para a saída da água. Recomendo que essa água seja destilada, pois os componentes salinos da água não destilada podem contaminar a solda em graus imprevisíveis, dependendo a penas da qualidade da água. O cordão de alimentação do ferro deve ser longo o suficiente para possibilitar sua livre movimentação e para evitar acidentes. Se o cordão original não tiver o comprimento necessário basta usar uma extensão com tamanho e bitola de fio adequados.

Então, é hora de iniciar a soldagem. Que comece com a preparação do ferro e das partes a soldar.

preparação do ferro

Então, é hora de iniciar a soldagem. Que começa com a preparação do ferro.

Inspecione o ferro para ter certeza de que a ponteira escolhida está totalmente encaixada na resistência elétrica, para garantir o contato íntimo entre ambos. Esse contato íntimo será muito facilitado se for aplicada uma camada de material antiaderente entre a superfície externa da ponteira e a superfície interna da resistência que fazem contato físico. Assegurado esse contato, estamos assegurando a transferência de calor eficiente da resistência para a ponteira.

Assim, essa é uma das recomendações sempre em pauta.

Além disso, certifique-se que a ponteira esteja rigidamente fixada ao corpo de ferro.

Com o ferro ainda frio, é hora de limpar as superfícies de trabalho da ponteira. A forma ideal de efetuar essa limpeza é polindo as superfícies metálicas da área de trabalho. Para tanto, use uma lixa # 400, própria para ferro, e jamais uma lima. Após o polimento limpe a ponteira com um pano seco.

Ligue o ferro e enquanto ele aquece aplique um pouco de solda com elevado conteúdo de estanho, como 60/40, à extremidade de trabalho da ponteira. Quando a solda começar a derreter, friccione a solda líquida com um pano contra a ponteira, o que ajudará a espalhar a solda por toda a superfície de trabalho da ponteira. Ao final dessa operação, toda a superfície de trabalho da ponteira deverá estar estanhada, com aparência bem brilhante.

A ponteira deverá ser conservada dessa maneira durante todo o tempo de soldagem. Isso significa que a ponteira deverá sofrer limpeza periódica a cada 10 minutos ou menos, para eliminar resíduos e detritos, que deverão ser removidos. Do contrário, poderemos contaminar o trabalho com impurezas indesejáveis.

A forma mais fácil de fazer isso é limpando a ponteira na esponja úmida do descanso.

Assim, o ferro estará devidamente preparado e pronto para uso.

trabalhando as partes a soldar fios e cabos

remoção da jaqueta isolante dos fios e cabos



**figura 10.52 ferramenta para descascar cabos “automaticamente”, com várias opções de diâmetros
cortesia Torberry Connectors, UK**

Quando trabalhamos com fios e cabos, a primeira coisa a fazer é descascar o fio ou cabo, removendo uma parte de sua jaqueta plástica. Para tanto, é indispensável usar um descascador automático com a ferramenta apropriada para o diâmetro do fio ou cabo com o qual se vai trabalhar. Veja um desses descascadores automáticos na figura 10.52. Evite remover a isolamento do fio ou do cabo com alicates, estiletes, lâminas, facas e outros, porque dessa maneira é fácil provocar talhos, cortes e outras formas de danos físicos.

A isolamento deverá ser removida de sorte que, depois de soldada, a parte sem isolamento do fio tenha um comprimento máximo de 3 mm e mínimo de 0,8 mm. Como ilustra a figura 10.53. É importante observar esses limites, uma vez que eles são estabelecidos com dois objetivos: evitar a queima da jaqueta isolante do fio ou cabo, e permitir que ele ainda tenha alguma flexibilidade num ponto onde a solicitação mecânica geralmente não é desprezível.

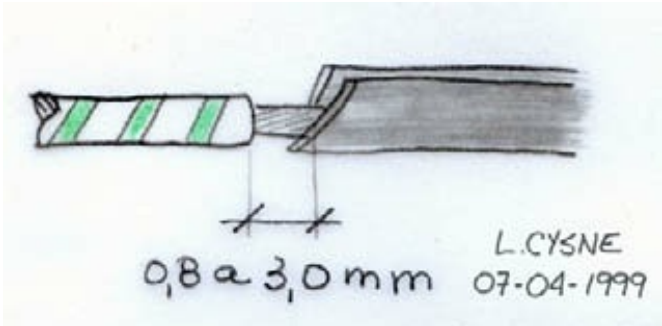


figura 10.53 dimensões recomendadas para remoção da isolamento dos fios acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Imediatamente após ter removido a isolamento de um fio ou cabo, inspecione o resultado para ter certeza que tudo correu bem. Caso contrário, repita a operação.

Quando se lida com cabos multicerdas, a quantidade limite de cerdas perdidas na operação de remoção da isolamento deve ser no máximo o que indica a tabela 10.7.

tabela 10.7

quantidade de cerdas	1-7	8-15	16-18	19-25	26-36	37-40	mais que 41
cerdas perdidas	0	1	2	3	4	5	6

estanhando os fios e cabos Uma vez removida a isolamento de qualquer fio ou cabo é preciso estanhar as partes metálicas expostas, de modo que não haja tempo para que as mesmas sofram oxidação.

Antes de estanhar os cabos multicerda é preciso torcer as cerdas na direção natural dos respectivos passos de torção. Use uma luva de borracha nessa operação de modo a evitar que o óleo da pele seja transferido para as partes metálicas do cabo.

A operação de estanhar pode ser feita com um cadinho, como o da figura 21, ou manualmente.

Nos dois casos é preciso lembrar que estanhar o fio ou cabo nas partes que devem ser

fisicamente flexíveis de sorte a possibilitar o arranjo mecânico não é um procedimento aceitável.

A operação manual deve ser feita cuidadosamente porque, por efeito de capilaridade, a solda tende a tomar conta de boa parte do fio. Este efeito é semelhante ao de uma esponja absorvendo água. A figura 10.54 ilustra a forma correta de estanhar um cabo. Note que a solda, na cor marrom, é colocada por sobre o fio, e não diretamente no ferro.



figura 10.54 maneira correta de estanhar os fios acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Convém lembrar que terminais preparados para crimpagem não deverão ser estanhados. A tabela 10.8 resume minha recomendação de potência de ferro para algumas gamas de bitola de fios e/ou cabos.

tabela 10.8

bitola dos fios/cabos (AWG)	potência do ferro (watts)
8 a 10	100
12 a 14	65
16 a 20	25
22 a 26	10

trabalhando com a blindagem dos cabos coaxiais e cabos de microfone Um dos enganos mais comuns que se comete quando os cabos possuem blindagem trançada é tentando desfazer as tranças.

A forma correta de se lidar com esse tipo de cabo é a ilustrada na figura 10.55.

Na foto 1 o cabo ainda não teve sua isolação removida. A foto 2 mostra uma parte da isolação já removida. A seta da foto 3 indica o local da blindagem onde deve ser feita uma incisão. A melhor forma de fazer uma incisão precisa é dobrando o cabo e fazendo a incisão com um alicate de corte diagonal pequeno, a partir da superfície exposta da blindagem. A foto 4 mostra a etapa seguinte, que é a passagem do condutor central com sua isolação através da incisão feita na blindagem. A foto 5 mostra o condutor central já totalmente livre da blindagem. Na foto 6 o condutor central já teve sua isolação removida. Finalmente, a foto 7 mostra condutor central e blindagem devidamente estanhados.

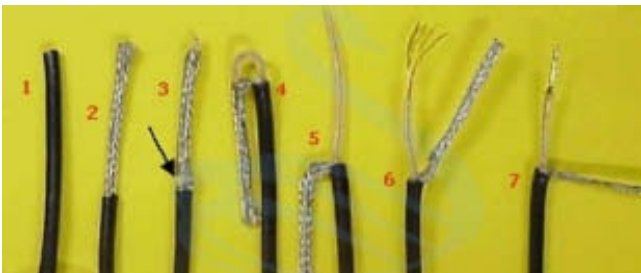


figura 10.55 as várias etapas da preparação de um cabo com blindagem trançada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne limpando as partes a soldar Já sabemos que quaisquer peças ou partes metálicas

expostas ao ar começam a reagir quimicamente com o oxigênio da atmosfera. O resultado é a produção de óxidos metálicos. Esse processo, denominado oxidação, cria uma película oxida sobre todas as superfícies que estão em contato com o ar. E a película “blinda” a superfície metálica a ser soldada, constituindo-se num obstáculo que impede que a solda percorra livremente toda a superfície. Segue que a ação do fluxo é inibida total ou parcialmente.

Eis porque a película óxida, mesmo que muito fina, impede que a solda feita nessas circunstâncias seja de qualidade. Em casos extremos a película pode impedir que a soldagem seja realizada. Portanto, independentemente da preparação dos fios e dos cabos, também é preciso preparar todas as demais partes metálicas que serão soldadas. O que inclui terminais metálicos de conectores, trilhas de circuitos impressos, postes e pinos de soldagem, *etc.* Enfim, toda e qualquer parte metálica a ser soldada deve ser previamente preparada.

A preparação começa com a limpeza. Cujo objetivo é remover a película de óxido metálico formada e retirar das superfícies quaisquer resíduos físicos e traços de contaminação.

Realmente, sem a limpeza prévia não se pode assegurar o espalhamento homogêneo da solda nem a adesão apropriada das partes a soldar. E essas são condições indispensáveis para que a conexão seja considerada segura e de qualidade.

Não se engane com superfícies aparentemente limpas. Muitos agentes contaminantes não são visíveis a olho nu. Como se faz a limpeza depende do que se quer limpar. Para óleos e contaminantes graxos, o ideal é aplicar um pano embebido numa solução de água destilada morna com sabão neutro, e a seguir aplicar um pano levemente umedecido com álcool isopropílico.

Também é possível limpar as superfícies metálicas com lixas com grama 600 ou com esponjas de aço muito finas, como o Bombril. Estes dois últimos procedimentos são os recomendados para remover a camada de verniz isolante de alguns fios empregados em bobinas e transformadores.

Ao final da limpeza as superfícies devem ter aspecto muito liso e parecer bem brilhantes.

Efetuada a limpeza, deve-se estanhar as superfícies imediatamente. O que é discutido no item a seguir.

estanhando as partes a soldar As peças metálicas são estanhadas com dois objetivos.

Inicialmente, esta é uma medida de proteção, já que a parte estanhada fica praticamente protegida por completo do processo de oxidação.

O segundo objetivo é facilitar a soldagem. De fato, além das partes estanhadas aumentarem o grau de eficiência na transferência de calor da ponteira para as partes metálicas a soldar, elas também promovem o espalhamento da solda bem mais rápido e mais homogêneo do que se obtém sem estanhar as partes metálicas.

Para estanhar quaisquer partes metálicas siga os procedimentos nesse sentido já discutidos anteriormente.

o procedimento de soldagem Com as partes a soldar devidamente limpas e estanhadas pode-se iniciar o procedimento de soldagem. O primeiro passo é arrumar as partes a soldar.

arrumando mecanicamente as partes a soldar Além das qualidades mecânicas e elétricas, uma solda bem feita deve ter uma aparência muito profissional. Além disso, um dos primeiros segredos de uma solda de qualidade é que todas as partes a soldar sejam mantidas absolutamente imóveis durante todo o período de solidificação da solda.

Esses dois motivos implicam que é praticamente imperativo arranjar mecanicamente todas as partes a soldar antes de se aplicar solda ao trabalho.

Esse arranjo mecânico consiste em arrumar, para cada ponto de solda a executar, todas as partes com o formato final desejado. Isto é, como imaginamos que elas devam ficar após terem sido soldadas.

A realização prática dessa tarefa torna-se muito difícil se não for seguida à risca a recomendação feita para que as partes flexíveis dos fios e cabos não sejam estanhadas.

Bem, as figuras 10.56 e 10.57 mostram vários exemplos de formas incorretas e corretas de se arranjar mecanicamente as partes metálicas a soldar, nessa ordem.

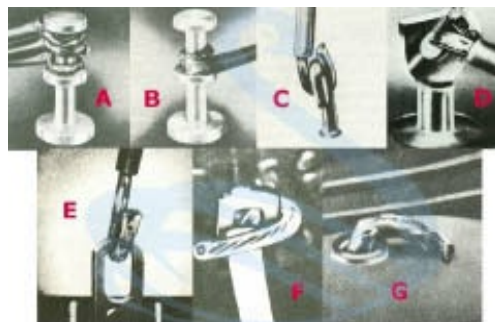


figura 10.56 arranjos mecânicos não aceitáveis dos fios nos elementos metálicos a soldar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

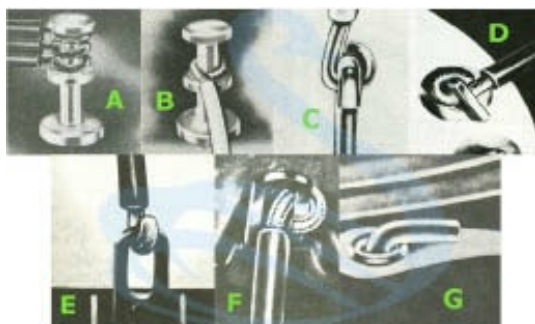


figura 10.57 arranjos mecânicos aceitáveis dos fios nos elementos metálicos a soldar acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne aplicando a solda

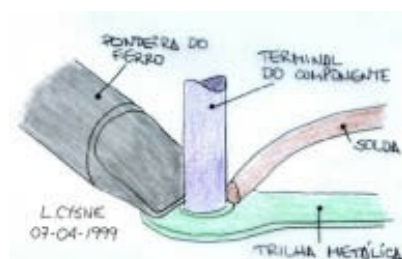


figura 10.58 maneira correta de acomodar o ferro de solda numa solda de terminal de componente

eletrônico numa placa de circuito impresso e como posicionar o fio de solda acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Em geral gasta-se mais tempo para limpar, estanhar e arrumar mecanicamente as peças a soldar, isto é, com as etapas preparatórias, do que com a etapa de aplicar a solda, que é um procedimento bastante simples e direto.

Evidentemente, só é possível iniciar a aplicação da solda depois que o ferro de soldar tiver atingido sua temperatura de regime. Certifique-se de manter a ponteira do ferro sempre estanhada e isenta de óxidos escuros, partes queimadas e ingredientes contaminantes. Para tanto, use e abuse da esponja úmida.

Atenção para a figura 10.58. Ela mostra claramente que o ferro deve ser aplicado em posição tal que a ponteira faça contato físico com as partes metálicas a soldar, simultaneamente.

O motivo dessa simultaneidade é aquecer igualmente as peças a soldar, que recebem ao mesmo tempo o calor transferido pela ponteira.

Depois de aproximadamente 1 a 1,5 segundo contado do momento em que o ferro é encostado nas partes metálicas a soldar, estas já deverão ter adquirido a temperatura desejada.

Só então aplique a solda.

O desenho mostra exatamente como a solda deve ser aplicada. Ou seja, ela também é aplicada nas partes a soldar, já aquecidas. E não na ponteira do ferro. É importantíssimo que a solda não seja aplicada sobre a ponteira do ferro.

Portanto, tenha todo o cuidado na hora da aplicação da solda. Vê-se, portanto, que a fusão da solda não é provocada pelo ferro diretamente, mas sim pelas as superfícies a soldar, estas sim aquecidas pelo ferro.

Seguindo esse procedimento, a solda irá caminhar facilmente pelas superfícies a soldar. Quando a solda já tiver se espalhado, ou estiver em fase final de espalhamento, retire o ferro do local para que a solda, ainda líquida, possa solidificar.

Veja na figura 10.59 o que ocorre enquanto o ferro é retirado do ponto de soldagem.

Outra coisa muito importante para garantir a soldagem de qualidade é impedir qualquer movimento físico das partes que estão sendo soldadas durante todo o tempo em que a solda estiver solidificando. O que é bastante fácil conseguir se a arrumação mecânica discutida anteriormente foi feita adequadamente.

Se todos os demais procedimentos prévios de preparação foram observados, a técnica para aplicação de solda descrita assegura excelentes resultados.

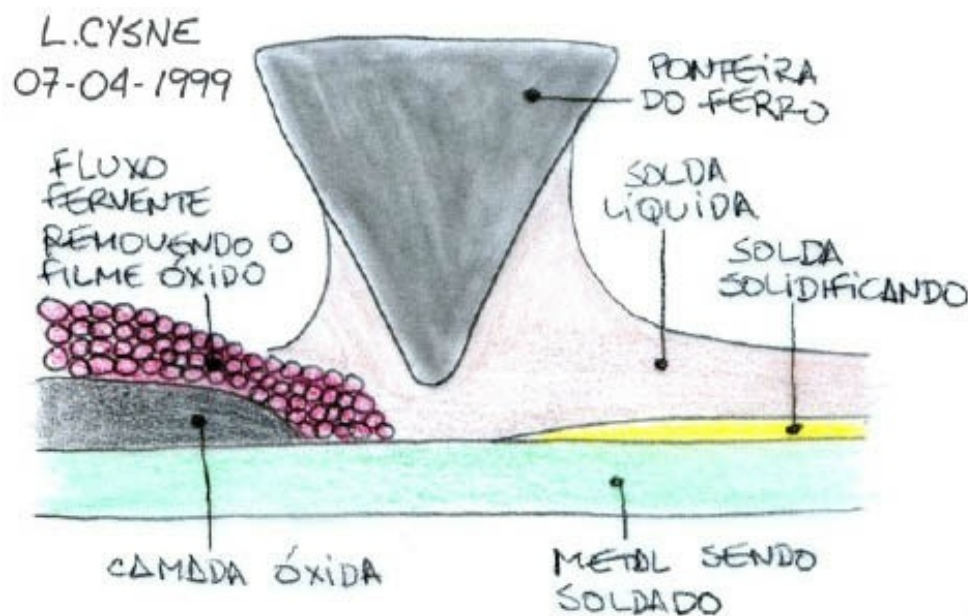


figura 10.59 atividade local quando o ferro está sendo retirado do ponto de soldagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne inspecionando a soldagem feita e reconhecendo os defeitos Uma boa prática de soldagem é inspecionar cada ponto de solda imediatamente após a conclusão do procedimento de soldagem. Portanto, tente acostumar-se a fazer isso como rotina de trabalho.

A inspeção visual minuciosa é feita mais facilmente com o auxílio de uma lupa ou óculos de aumento. O formato desse acessório pode ser escolhido livremente por cada um.

A figura 10.60 mostra alguns modelos de lentes preferidos para serviços de solda em eletrônica.



figura 10.60 lentes próprias para a inspeção dos pontos de soldagem, depois de concluídos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A solda bem executada terá uma aparência homogênea, contínua e brilhante. De outra forma, é provável que haja um ou mais defeitos na soldagem.

solda fria

A solda fria provavelmente é o mais comum de todos os defeitos de soldagem. Ela pode ser facilmente reconhecida por sua aparência característica, opaca e cristalina. A falha resulta da movimentação das peças que estão sendo soldadas depois que o ferro foi retirado e antes que a solda solidifique.

Uma conexão com solda fria até pode funcionar bem no início. Mas é inevitável. Depois de algum tempo o problema se manifesta. Geralmente na forma de mau contato ou de interrupção.

solda oxidada

Algumas vezes se faz a inspeção da solda imediatamente após sua conclusão e ele se mostra com aparência bem oxidada.

O motivo desse defeito é o excesso de temperatura e/ou deficiência na limpeza da ponteira do ferro.

Uma das formas de evitar que isso ocorra é usar um dissipador térmico metálico, como a garra jacaré da figura 10.61



figura 10.61 garra jacaré, poderoso dissipador térmico auxiliar nos processos de soldagem manual
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne bolsa de ar

As bolsas de ar são pequenas partes das superfícies soldadas que não são percorridas pela solda líquida. Ao ficar expostas ao ar ainda com temperaturas elevadas, essas partes começam a oxidar.

As causas mais comuns da formação das bolsas de ar são a vaporização de traços de umidade ainda presente nas partes a soldar e a vaporização de umidade existente na solda líquida.

Quando essas bolhas começam a aparecer em quantidade, a melhor maneira de evita-las é limpar as superfícies a soldar com etanol 100%.

flutuação

O fenômeno da flutuação pode ser percebido a olho nu. São pontos escuros presentes na parte externa da solda já solidificada. Os pontos escuros podem conter contaminantes queimados, a exemplo de resíduos das jaquetas plásticas de fios, mas também podem ser resíduos deixados pelas ponteiros do ferro, que não foram devidamente mantidas ao longo do processo de soldagem.

Assim, além dos cuidados para evitar queimar partes que não participam diretamente do processo, a providência para evitar a flutuação é manter a ponteira do ferro sempre limpa. Como mostra a figura 10.62.



figura 10.62 ponteira de ferro de soldar mantida limpa acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne pelote

Como o nome sugere, o pelote é uma pequena pelota de solda que se nota onde deveria haver uma fina camada de solda. O fenômeno ocorre quando as partes são devidamente aquecidas, mas a solda não. Sua causa típica é a retirada do ferro de solda antes do tempo.

Um ponto de solda com pelote fica totalmente prejudicado, pois quando funciona é de modo muito precário.

excesso de solda

O excesso de solda tende a encobrir problemas e um é forte indicador da presença de “pontes”, que são ligações indesejáveis, provocando curtos entre partes que não deveriam estar eletricamente ligadas. Como mostra a figura 10.63, dentro do círculo verde.

Para que se tenha uma ideia mais abrangente da qualidade das soldagens, a figura 10.64, a seguir, oferece vários exemplos de soldas não aceitáveis.



figura 10.63 o problema está indicado com o círculo verde acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

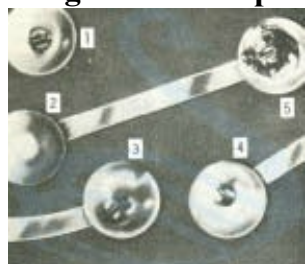


figura 10.64 os problemas estão distribuídos entre os pontos de solda numerados de 1 até 5 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne limpando a junção já soldada Se a inspeção discutida acima revelar a presença de resíduos nos pontos de solda, eles devem ser removidos. O quanto antes melhor.

Com efeito, quaisquer agentes contaminantes afetam a curto, médio ou longo prazos a qualidade da soldagem, da união obtida e das características elétricas e mecânicas do trabalho, já que sua ação principal é provocar a corrosão metálica.

Para casos simples recomendo a escovação com uma escova de dente bem dura, embebida em solução de soda com pH de aproximadamente 10. Isso costuma ser o suficiente para neutralizar rapidamente a ação de quaisquer resíduos de fluxos, inclusive dos ácidos.

Concluída a limpeza com a solução, o trabalho precisa ser enxaguado, colocada para secar e, se preciso, lubrificado.

Entretanto, há algumas limitações que devem estar na ordem do dia.

Considere sempre a capacidade de remover resíduos contendo poliglicóis da solução a ser utilizada na limpeza, já que muitas soluções simplesmente não removem esses resíduos.

Para enxaguar o trabalho depois da limpeza com qualquer tipo de solução, use água destilada e nunca a chamada “água potável”, pois o trabalho pode acabar contaminado por produtos como a clorina, a fluorina e halidos.

Antes de aplicar qualquer solução a seu trabalho, certifique-se que ela é quimicamente compatível com as camadas protetoras dos circuitos impressos e/ou bases de conectores.

dessoldando

Claro que é importante saber soldar. Mas por vezes o trabalho precisa ser refeito e a solda pronta deve ser desmanchada. Essa operação é denominada dessoldagem.

O processo envolve a fusão da solda para a desmontagem mecânica das partes unidas. Desde que a temperatura seja adequada o procedimento é bastante direto.

A tendência é que a solda permaneça onde está. Eis porque a dessoldagem é feita mais facilmente com o auxílio de uma ou duas ferramentas, imaginadas para remover com facilidade praticamente toda a solda existente no ponto de trabalho.

Uma dessas ferramentas é o sugador de solda, como o da figura 10.65. Do lado esquerdo a foto de um sugador já equipado com seu próprio aquecedor. Do lado direito dois sugadores manuais, que só sugam a solda, sem aquece-la. Portanto, os sugadores manuais são usados em conjunto com os ferros de soldar.



figura 10.65 porosidade do ouro à esquerda e corrosão sólida à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 10.66 cordoalha metálica para remover excesso de solda acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Como os sugadores manuais, a cordoalha também é usada em conjunto com o ferro de soldar. Este aquece o ponto a ser desfeito e aproxima-se a cordoalha da solda já liquefeita, que é prontamente absorvida.

A variedade mais comum de cordoalha tem a forma de malha feita com cobre, contendo um tipo e especial de fluxo que ajuda na absorção mecânica da solda líquida.

A experiência prática é indispensável para que se adquira o domínio da solda e seus meandros.

Estimo que para se ter um mínimo de habilidade não se pode pensar em menos do que 50 horas de prática, distribuídas entre soldar componentes em placas, soldar fios e cabos em conectores, emendar fios e cabos, *etc.*

Pratique com componentes usados, fartamente disponíveis por praticamente nada nos

mercados especializados em eletrônica. Mas use ferramentas, como ferro de soldar, acessórios, solda, etc., de qualidade.

soldas sem chumbo, na linha do verde, do ecológico e do sustentado As soldas anteriores aos anos 50 eram totalmente de estanho. Embora funcionassem relativamente bem, houve inúmeros casos de problemas de grandes proporções cujas origens foram cientificamente atribuídas a essas soldas. Por exemplo, os problemas constantes com os radares, inúmeras falhas com mísseis de longo alcance e até mesmo em satélites de telecomunicações.

Isso aconteceu porque o estanho é capaz de produzir espontaneamente filamentos microscópicos, de 1 a 5 micra, mas ainda eletricamente condutores. Portanto, eles curto-circuitam pontos de solda em circuitos impressos e em outras estruturas mecânicas.

O problema já era conhecido desde os anos 40, por ter provocado inúmeros problemas de várias naturezas. Inclusive chegando a obrigar empresas a fazer recall de produtos a custos elevadíssimos.

Pior é que o problema não estava circunscrito apenas ao estanho, mas também ocorria com o zinco e com o cádmio, entre outros.

A solução não tardou a chegar. Bastou acrescentar chumbo à mistura. Isso tornava a solda muito estável e com propriedades que a recomendavam para inúmeras tarefas, apenas com ajuste das proporções dos ingredientes.

Depois de algumas décadas surge um novo problema. É que o chumbo é um dos elementos detentores do maior grau de toxidade entre todas as substâncias muito tóxicas. Razão suficiente para que ele fosse banido de quase todos os produtos dos quais fazia parte. A exemplo da gasolina, da qual ele foi retirado. As soldas não foram exceção.

No momento em que eu escrevia estas linhas estávamos vivendo uma fase de transição. Das soldas com chumbo para as soldas ecológicas.

Por vezes paro para pensar nessas coisas. Confesso que não entendo tanto cuidado com algumas coisas enquanto nossos oceanos possuem uma camada de lixo de aproximadamente 17 milhões de quilômetros quadrados. Ao que equivale duas vezes a área continental do Brasil.

Pobre solda.

O fato é que as primeiras soldas substituídas para as soldas chumbo-estanho foram feitas com estanho puro, o que nos remete de volta aos problemas dos 50, com estanho-zinco e com estanho-prata-cobre. No primeiro caso a temperatura de fusão é da ordem 217°C, porquanto as soldas estanho-prata-cobre fundem a 227°C.

As soldas com chumbo possuem formulação típica com 1% de fluxo. Figura essa que não se aplica às soldas sem chumbo. Estas exigem um mínimo de 2% de fluxo, que tanto podem ser

os que exigem limpeza posterior quanto os que não exigem essa limpeza. Para alguns tipos de soldagens 2% mostra-se insuficiente. Então, proporções de até 3% ou mesmo 4% podem se fazer necessárias. A contrapartida é que quanto mais fluxo mais resíduos a operação produz.

Outro ponto a observar é que fluxos para soldas sem chumbo devem poder suportar temperaturas muito mais elevadas que os adequados para soldas com chumbo, sem nenhum perigo de sofrer alterações estruturais.

Quem quiser aprofundar mais os conhecimentos nos meandros tortuosos das soldas e sua ciência pode recorrer ao link <http://www.ipc.org/ContentPage.aspx?pageid=Standards>

Este é o passaporte para o IPC – Association Connecting Electronics Industries.

Infelizmente essas novas formulações de solda são comparativamente muito inferiores aos que é possível obter com as soldas chumbo-estanho. Além disso, novas formulações são muito caras. Especialmente as que usam prata.

É por isso que a NASA, inúmeras organizações militares por todo o mundo, fabricantes de sistemas hospitalares de tecnologia de ponta, indústrias de artefatos de precisão, como mísseis intercontinentais, instrumentos de medida de primeiríssima linha, naves espaciais, satélites e tantos outros, ainda não abandonaram a tradicional solda chumbo-estanho.

Pesquisas recentes indicam que os problemas ainda persistentes de microfilamentos gerados pelas formulações “verdes” de soldas, podem ser aliviados com a mudança da temperatura das soldagens. Entretanto, muitos especialistas sustentam que ainda não temos solução verde confiável.

Até porque os principais problemas constatados com as soldas sem chumbo incluem: • geração espontânea de filamentos microscópicos • má formação das estruturas cristalinas do estanho, que se espalham aleatoriamente • falhas produzidas por curto-circuitos • outras

Vamos aguardar enquanto os cientistas procuram soluções que tecnicamente possam substituir à altura as soldas chumbo-estanho, e cujos preços sejam equivalentes.

Enquanto isso, quem se aventurar com as soldas verdes tem que investir também nos ferros, cujas pontas devem ser apropriadas para as novas formulações de solda. Mas, nesta etapa do desenvolvimento, os seguintes problemas podem ocorrer com as soldagens baseadas em soldas sem chumbo: • soldas com granulação • soldas que encolhem

- soldas frias
- soldas com fraturas
- soldas com aspecto de brilho excessivo (a solda torna-se quebradiça) • soldas com aspecto muito irregular • fluxo com aspecto de carbonizado • dificuldade de remover os resíduos de fluxo Outra alternativa para quem quer entrar em mais detalhes no assunto soldas pode contatar o Sr. Peter Biocca, que é químico com experiência de 25 anos nas

tecnologias de solda. Ele é o Engenheiro Senior de Desenvolvimento da Kester Connecting Innovation. O telefone do Peter é (972) 390.1197, nos Estados Unidos, e o mail é pbiocca@kester.com.

Por enquanto vamos aguardar já que os cientistas estão procurando soluções que tecnicamente possam substituir à altura as soldas chumbo-estanho, e cujos preços sejam equivalentes. Ou ao menos razoáveis.

10.5.5.4 Montagem de Cabos de Rede prólogo

A cada dia que passa os técnicos de instalação de sistemas profissionais de áudio são mais exigidos com tarefas relacionadas com a montagem dos cabos de rede. Os motivos principais para isso é que os sistemas ASE vão se tornando uma espécie de padrão de mercado e, além disso, snakes digitais e extensores de sinais sobre cabos UTP/STP/FTP vão se incorporando aos sistemas em velocidade extraordinária.

Diante disso entendi que era bastante importante dedicar umas poucas linhazinhas para que discutíssemos um mínimo de cabos de rede e como terminá-los nos locais das instalações. Especialmente as montagens com conectores RJ45. A propósito, a sigla RJ é acrônimo para “Registered Jack”.

Na prática, constato que vários problemas de campo aparentemente são o resultado da desinformação de boa parte dos profissionais envolvidos com essas tarefas. Noto que muitos desconhecem alguns aspectos básicos, os quais é preciso ter ao menos uma certa noção antes de aceitar esse tipo de trabalho. O alibi, por sinal muito bom, é que esses aspectos elementares realmente são quase invisíveis. O que conta a favor dos técnicos de instalação.

Antes de qualquer outra coisa devo dizer que, assim como roupas falsificadas, relógios fajutos, óculos de grife de araque e outras espertezas do gênero, os cabos de rede e os conectores RJ45 também estão sujeitos a ações piratas. Por isso mesmo é fundamental só adquirir esses itens de fornecedores conceituados e conhecidos. Mesmo assim, de preferência com certificado de garantia na origem. Que é um documento expedido pelo fabricante, atestando que aqueles produtos, devidamente identificados, correspondem a artigos por ele fabricados e, principalmente, que foram submetidos a testes de qualidade e que saíram bem.

Alternativamente se faz a compra do próprio fabricante ou do fornecedor.

Esta é a primeira chave para evitar problemas mais sérios. Em razão da relativa fragilidade dos conectores RJ45, considero esse cuidado um excelente ponto de partida.

A segunda chave está ligada a um fato realmente pouco conhecido. Os conectores RJ45 são feitos ou trabalhar com cabos cujos condutores são sólidos, ou para trabalhar com cabos tipo “cabinho flexível”. Veja esses dois tipos de cabos na figura 10.67 e observe bem as diferenças

entre eles.



figura 10.67 cabos UTP, com condutores sólidos à esquerda e com condutores tipo cabinho flexível à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É imprescindível que os conectores empregados num determinado sistema tenham sido projetados e fabricados para que combinem perfeitamente bem com os cabos nos quais serão montados. Não se precipite para adquirir qualquer coisa achando que está agilizando o procedimento de instalação. Ao contrário, você poderá, isto sim, acabar “cooperando” para que os serviços acabem tendo uma série de problemas, cujas identificações habitualmente consomem muito tempo e têm alto custo. O ideal é que os conectores e os cabos sejam adquiridos do mesmo fornecedor, tomando-se o cuidado de testar previamente uma ou algumas montagens antes de se fazer a compra de todo o material.

Quero que você saiba que estou insistindo muito nesse ponto porque é praticamente impossível identificar os conectores próprios para cabos sólidos dos conectores próprios para cabinhos flexíveis apenas examinando-os visualmente. Mesmo usando lentes de aumento a tarefa é para especialistas de carteirinha e muito tarimbados nisso.

Depois de adquiridos os conectores certos e os cabos para eles, o trabalho continua. Porque é preciso identificar cada tipo de produto e armazená-los de forma que seja impossível misturar uns com outros.

Porque tudo isso? Porque, usar o tipo errado de conector pode trazer problemas de intermitência a muito curto prazo. Uma encrenca que não desejo para ninguém. Melhor prevenir, certo?

Recentemente alguns poucos fabricantes lançaram conectores RJ45 que são indicados para os dois tipos de cabos. Essa é uma tremenda vantagem, ainda que o custo seja ligeiramente mais alto.

A terceira e última chave está no uso de ferramentas realmente profissionais para terminar os cabos RJ45. Com efeito, há alicates de crimpagem para esses conectores desde poucos reais, incluindo kits de testes, assim como há ferramentas que podem ultrapassar US\$ 500 FOB. Veja na figura 10.68.



figura 10.68 1 – Fluke Networks, preço FOB cerca de US\$50, 2 – Sullster Tech EZ-RJ com preço FOB de aproximadamente US\$ 100 e 3 – Gerber USA de US\$ 500 FOB

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Claro que não me refiro apenas aos alicates de crimpagem, mas a todo e qualquer item que possa ser considerado parte do kit de ferramentas para a terminação desse tipo de cabos. Incluindo estiletes circulares para corte e remoção das jaquetas dos cabos de rede,

A Telecommunications Industry Association – TIA e a Electronic Industries Alliance – EIA, estabeleceram normas e padrões para cabos de rede utilizados em cabeamento em edificações comerciais e em produtos e serviços de telecomunicações. Trata-se dos padrões TIA/EIA-568.

Com altíssima probabilidade, as partes mais conhecidas desses padrões são configurações de pinagem dos cabos de rede, com 8 condutores e 4 pares individualmente torcidos e balanceados, cuja impedância nominal é 100 Ω . Essas configurações são conhecidas como T568A e T568B.

A IEC (International Electrotechnical Commission) e a ISO/IEC 11801 também oferecem padrões similares para redes de cabos.

Antes de pensar em terminar um cabo de rede é fundamental conhecer e poder reconhecer visualmente esses padrões.

Vejamos inicialmente a pinagem dos conectores RJ45, que é o que mostra a figura 3, e em seguida vejamos a síntese das pinagens T568A e 568B, que é o que mostra a figura 10.69.



figura 10.69 pinagem intrínseca dos conectores RJ45 de 4 pares e 8 condutores acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se você observar bem a figura 10.69 verá que a estrutura do conector é feita em plástico transparente. Também existem conectores com plásticos coloridos. Veja que há oito ranhuras internas destinadas aos oito fios do cabo de rede. Isso impede que dois fios sejam ligados a um só terminal dourado do conector. Na parte superior esquerda da figura há uma trava interna, cuja função é pressionar o cabo e mantê-lo no lugar como uma espécie de prensa-cabos.

Note também que no conector da figura os oito contatos dourados estão expostos, o que corresponde a sua posição original. Entretanto, depois da crimpagem eles ficam embutidos, já que suas bordas internas são muito afiadas e, durante a crimpagem, atravessarão as isolações de PVC dos fios para estabelecer os contatos elétricos sem nenhuma necessidade de descascar fiozinhos.

Na sequência, é preciso saber que pinagem deve ser seguida para o trabalho a ser feito.



figura 10.70 pinagens especificadas no padrão TIA/EIA 568, variantes A e B para cabos diretos e cabos cruzados (crossover cable) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A pinagem 568-A, mais antiga, foi inicialmente recomendada para lances horizontais de cabos de rede. Ela foi especificada de modo que fosse totalmente compatível com a pinagem USOC (Universal Service Order Codes) de 1 e de 2 pares, utilizada nos Estados Unidos em contratos com o governo federal. A pinagem 568-B foi uma alternativa prevista no padrão como algo eventualmente necessário para acomodar alguns sistemas de cabeamento de 8 pinos. Essa pinagem coincide com a pinagem prevista no antigo padrão AT&T 258A.

Quando a norma TAI/EIA-568 foi lançada nos anos 90 a infraestrutura de cabeamento mais comum utilizava o padrão 258A. Razão pela qual muitas organizações ainda usam infraestrutura baseada na pinagem T568-B.

Contudo, atualmente a pinagem T568-A é a mais comum.

Quem observa a figura 4 vê que, do ponto de vista de conectividade não há diferença entre as modalidades A e B. O que significa que um cabo patch 568-B funciona perfeitamente bem num ambiente 568-A, e vice-versa.

Fui testemunha de incontáveis casos nos quais se procurou reutilizar cabos de rede que estavam em operação e foram remanejados. De modo geral os resultados disso são inacreditavelmente desagradáveis. Por isso, jamais siga esse caminho. Sei que pode parecer um tanto ou quanto pedante ou, quem sabe, ter eu acrescentado a esse papo uma pitada de

magia negra. Nada disso!

O que ocorre é que os cabos se acomodam aos formatos que lhe são dados. Especialmente nas curvas e nas ligações com os conectores. Sei que você sabe que cabos têm memória, certo? Depois, quando eles são remanejados não voltam mais ao seu estado original, como fornecidos de fábrica pela primeira vez. A partir daí os problemas começam a surgir. Especialmente os intermitentes. Na maioria das vezes os novos trajetos, curvas e esforços estruturais impõem estresse mecânico em relação aos arranjos que os cabos tinham anteriormente. A gravidade disso pode ter graus variáveis.

Creio ser totalmente desnecessário recomendar que a economia com uns míseros reais em cabos e conectores não justifica colocar em risco a integridade de todo um sistema que, muitas vezes, tem sua operação totalmente calcada em redes com esses cabos.

Vejamos agora todos os passos para conectorizar um cabo de rede, pinagem T568-A.

passo 1

A primeira coisa a fazer é remover cerca de 25 milímetros da jaqueta externa da extremidade do cabo.



figura 10.71 ferramenta de crimpagem de conectores RJ45

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para tanto, você pode usar o alicate de crimpagem como o da figura 10.71. A ferramenta de corte prevista para essa função é o par de lâminas que está circundado por um retângulo amarelo.

Outrossim, gosto de recomendar o uso de uma ferramenta de corte tipo circular, de preferência com recursos de ajuste de profundidade de corte, o que pode propiciar um corte mais preciso.

De qualquer modo, é fundamental que se tenha cuidado extremo para evitar que a lâmina de qualquer das ferramentas não corte, nem sequer marque, nenhuma das isolações dos condutores internos. No caso da ferramenta de corte circular isso significa que o diâmetro do corte da ferramenta deve ser um pouquinho maior que o diâmetro interno da jaqueta do cabo de rede. Como ilustra a figura 10.72.

O círculo vermelho da figura mostra aproximadamente onde deve estar a posição da lâmina para que essa seja a profundidade do corte. Como nas melhores ferramentas de corte circular há possibilidade de ajuste dessa profundidade de corte, é possível fazer testes com diferentes

profundidades de corte até que se chegue ao melhor compromisso entre profundidade de corte e ainda manter a integridade plena de todos os condutores internos.

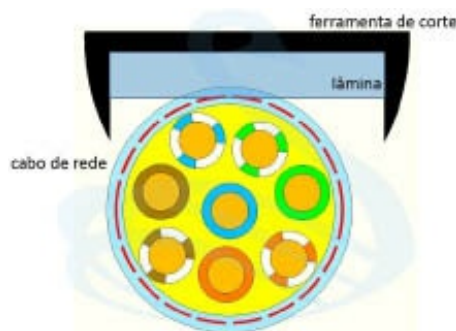


figura 10.72 vista transversal do corte da jaqueta de cabo de rede com ferramenta de corte circular acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.73 é a foto mostrando a jaqueta do cabo sendo cortada após ajuste da profundidade de corte da ferramenta.



figura 10.73 cabo de rede tendo a extremidade de sua jaqueta sendo cortada com ferramenta de corte circular acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma vez que se tenha circundado o cabo de três a quatro vezes, o corte já terá sido o suficiente para que o pedaço da jaqueta possa ser removido com facilidade. Quem não consegue essa facilidade logo da primeira vez não tem com o que se preocupar.

E apenas uma questão de prática.

A figura 10.74 mostra o cabo de rede já com os cerca de 40 milímetros de jaqueta removida.



figura 10.74 cabo de rede já com cerca de 40 milímetros de jaqueta removida acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne passo 2

Este passo é curtinho pois é apenas uma fase de inspeção visual. Observe com cuidado cada um dos condutores para se assegurar de que eles não foram lesados no processo de corte. Não pode haver nenhuma marca de lâmina nas isolações dos cabinhos internos. Se isso ocorreu é preciso cortar o cabo e refazer o passo 1, então com muito mais cuidado.

passo 3

No passo 3 você deve desfazer as torções dos pares. Um de cada vez. A melhor forma de fazer isso é usando a jaqueta de cerca de 25 milímetros há pouco removida do cabo. Como na

figura 10.75.

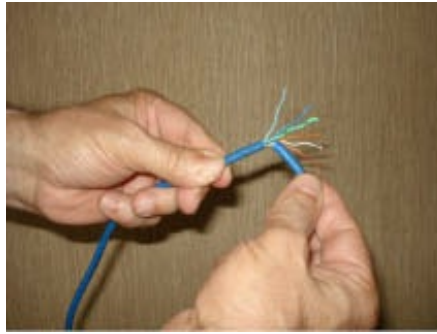


figura 10.75 maneira de desfazer as torções dos pares usando a parte da jaqueta removida do cabo
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.76 mostra os cabos internos já sem as torções
originais.

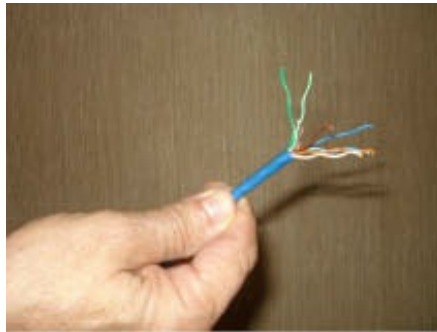


figura 10.76 pares do cabo UTP já com as tranças desfeitas
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
passo 4

Passo reservado para que os cabinhos sejam ordenados de acordo com a pinagem que vai ser seguida.

Para tanto, basta começar a organizar da esquerda para a direita na ordem desejada. Digamos que se pretende fazer um cabo T568-A direto. Então a organização manual fica como na figura 10.77.



figura 10.77 organização dos condutores do cabo UTP conforme T568-A do padrão TIA/EIA568
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne passo 5

Este é o momento de “retificar” todos os cabinhos. Isto é, eliminar ao máximo as ondulações que ficaram como resíduo das torções originais, desfeitas no passo 3, anterior.

A possível melhor maneira de fazer isso é pressionar simultaneamente os 8 fios contra uma superfície plana ou circular, sempre muito dura, a exemplo da chave de fenda reforçada da figura 10.78, começando junto ao ponto de corte da jaqueta e movimentando até o ponto onde os fios foram cortados.



figura 10.78 usando uma chave de fenda para “retificar” os condutores do cabo UTP acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Repita esse procedimento algumas vezes até que o resultado seja como mostra a figura 10.79.



figura 10.79 aspecto dos condutores do cabo UTP após retificação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne passo 6

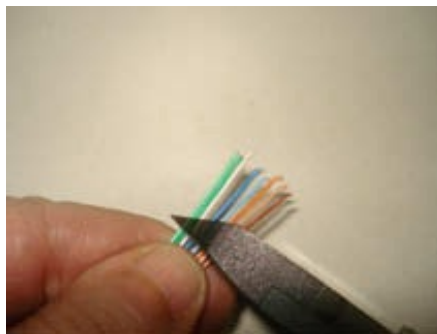


figura 10.80 aspecto dos condutores do cabo UTP após retificação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Agora é a hora de cortar o excesso dos cabinhos para se chegar ao comprimento certo. Segure-os como na figura 10.80 de modo que suas pontas fiquem todas alinhadas. Usando um alicate de corte grande e muito bem afiado, corte todos os cabinhos de uma só vez. Eles devem ficar com comprimento total de 12 milímetros, contados de onde termina a jaqueta. Veja isso na figura 10.81.

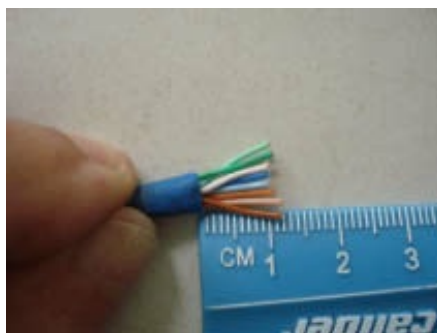


figura 10.81 tamanho dos condutores do cabo UTP após retificação e corte acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para esse corte especificamente falando, recomendo a tesoura “Wire Surgeon Wire and Kevlar Scissors”, que pode ser adquirida na Amazon por pouco mais que US\$ 30.00. Veja a fera na figura 10.82.



figura 10.82 tesoura Wire Surgeon Wire and Kevlar Scissors cortesia Wire Surgeon Wire and Kevlar Scissors passo 7

Verifique mais uma vez a ordem de cores dos cabinhos antes de introduzi-los no conector.

Está tudo certo? Então prossiga. Agora a ordem é introduzir os cabinhos no conector.

Segure o conector como mostra a figura 10.83. Os contatos metálicos ficam aparentes, na parte superior do RJ45. Nessa posição, os cabinhos verdes serão introduzidos pela parte esquerda do conector. Como na figura 10.84.

Enquanto estiver introduzindo os fios nas ranhuras do conector aplique movimentos muito suaves e delicados ao cabo, movendo-o lateralmente para um e para outro lado.

Pratique esse macete um pouco e verá o quanto ele é eficaz.



figura 10.83 maneira de segurar o conector RJ45 imediatamente antes de introduzir os condutores do cabo UTP no interior do conector RJ45 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 10.84 condutores do cabo UTP já introduzidos no interior do conector RJ45 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essa operação é simples. Mas os cuidados não podem ser negligenciados. Como o conector é feito de plástico transparente, inicialmente, com o cabo já inserido, confira as cores para ter certeza que nada saiu errado. Também é importante ter certeza absoluta de que nenhum fio ficou amarrotado ou não seguiu totalmente até o final da borda do conector.

Note que uma parte da jaqueta do cabo de rede entra no conector. Isso é assim porque o conector RJ45 tem duas linhas de crimpagem, como mostra a figura 10.85.

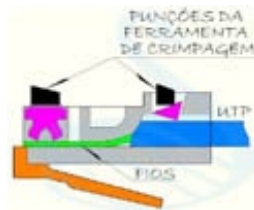


figura 10.85 corte lateral de um conector RJ45 mostrando as linhas de crimpagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura, a linha de crimpagem da esquerda é a que interliga eletricamente os 8 cabinhos aos 8 terminais dourados do conector. O processo utilizado para essas conexões é a IDC, já discutido há pouco.

A linha de crimpagem que está no lado direito da figura, por outro lado, produz apenas uma prensagem sobre toda a estrutura do cabo que penetrou no conector, funcionando como um prensa-cabos. Esse recurso equivale a introduzir alívio mecânico no cabo de rede. O que evita que os movimentos do cabo provoquem danos mecânicos ou avarias, usualmente constatadas entre cabo e conector quando o alívio mecânico não existe. Isto porque o alívio mecânico protege fisicamente todas as conexões elétricas/mecânicas, retirando-lhes quaisquer estresses que poderiam ser produzidos pela movimentação do cabo em relação ao conector.

passo 8

Este é o passo onde se processa a crimpagem. O conector é introduzido na ferramenta de crimpagem como mostra a figura 10.86.



figura 10.86 conector RJ45 já introduzido em sua célula na ferramenta de crimpagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Não há como errar. O conector só pode entrar no gabarito da ferramenta se tiver sido introduzido da maneira certa. Certifique-se de que ele foi introduzido até o final. O que ocorrerá quando não foi mais possível movê-lo porque ele atingiu o limitador. Se o conector não estiver na posição correta os pontos de punção da ferramenta não farão a crimpagem nos locais devidos e o trabalho será jogado fora. Veja na figura 10.87 o RJ45 no ponto certo de crimpagem, já encostado no limitador.



figura 10.87 foto mostrando o lado oposto da figura 10.77 e como o conector RJ45 deve encostar no limitador da ferramenta de modo que os dois punções de crimpagem desçam nos locais devidos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Lembre-se que conectores RJ45 não são reaproveitáveis.

Mesmo que tudo tenha corrido bem, se na etapa de testes houver problemas, então será preciso cortar o conector do cabo e refazer toda a sequência.

Com o RJ45 totalmente introduzido na ferramenta, aperte com força as manoplas do alicate até ouvir um clique ou até que não haja mais como movimentar a ferramenta. Muitas ferramentas possuem um gatilho de torque na parte interna das manoplas, o que é feito para assegurar que o torque aplicado é sempre o mesmo.

Uma vez feita a crimpagem o resultado será como na figura 10.88. Ou como na figura 10.89, se você quiser proteger o conector com a capinha de borracha. Neste caso, essa capinha precisa ser introduzida no cabo antes mesmo do passo 1.



figura 10.88 aspecto do conector RJ45 já crimpado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 10.89 aspecto do conector RJ45 já crimpado com capa de PVC de cor azul acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essas capas de PVC são fabricadas num bom assortmento de cores, como sugere a figura 10.90.



figura 10.90 capas de proteção dos conectores RJ45 e a variedade de cores que elas são disponibilizadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isso possibilita que você use um código de cores, e/ou que elabore um novo código de cores para sua empresa. Por exemplo, os cabos da Ethernet propriamente dita terão capa azul.

Os dedicados ao áudio, quer porquê se usa ASE quer porquê o áudio será enviado através de extensores por cabos UTP, então esses podem ter cor branca. Os de vídeo podem ter cor verde e assim por diante.

Isso facilita muito os procedimentos de testes de manutenção preventiva e conferem aspecto bem profissional aos sistemas.

Aí está. Estes são os fundamentos sobre os quais quem quiser poderá evoluir, lendo outras fontes, praticando, *etc.*

10.5.6 Sexta Fase - Interligações e Acabamento A quinta fase é totalmente dedicada à interligação dos equipamentos e a providências de acabamento.

As interligações são feitas entre as consoles e os racks, entre os racks e as caixas acústicas, e nos casos de sistemas de reforço entre os cabos de microfones provenientes de palco (instalados na segunda fase) e as consoles.

Também é nesta fase que são feitas as interligações dos aparelhos com a energia CA, e confeccionado todo o sistema de aterramento, exceto aquele já existente nos racks, confeccionado durante a primeira fase.

O que se chama de acabamento é a conferência final e retoques na arrumação dos cabos, no posicionamento dos racks, pequenos retoques de pintura, e tudo o mais que for necessário para que o sistema tenha uma aparência profissional, sem quaisquer imperfeições que mereçam correções.

Também é nesta fase que devem ser descartadas todas as embalagens ainda restantes, e finalmente, feita a limpeza final dos locais de trabalho.

Durante quaisquer descartes de embalagens, deve-se ter o cuidado de procurar no interior das caixas de papelão ou madeira para se assegurar que não haja quaisquer literaturas, manuais de usuário, relação de locais onde se presta a assistência técnica do produto, informações gerais, e assim por diante.

Toda essa literatura deve ser colecionada em pasta especificamente existente para essa finalidade, de vez que toda ela será entregue ao cliente juntamente com a documentação técnica.

10.5.7 Sétima Fase - Testes A sexta fase começa com a energização do sistema.

Todos os testes de campo devem ser feitos, seguindo as linhas gerais estabelecidas no capítulo 11, a seguir.

10.5.8 Oitava Fase - Alinhamento O alinhamento do sistema, como descrito no capítulo 12, a seguir, só pode ter início após conclusão da sexta fase.

10.5.9 Nona Fase - Entrega do Sistema e da Documentação Técnica A entrega do sistema deve ser feita de maneira formal. Ao que se chama de comissionamento.

Ao que vale dizer, a empresa instaladora prepara um documento de entrega, que é assinado pelo cliente. Essa prática caracteriza o momento exato da entrega.

Alguns clientes tenderão a relutar no momento de assinar tal documento, imaginando que dali para a frente a empresa instaladora “se livra” de toda e qualquer responsabilidade, não

tendo mais nada a ver com o sistema. O que evidentemente não é correto, até mesmo em virtude das garantias oferecidas.

Por outro lado, muitas vezes há pendências por parte do cliente, que impossibilitam a conclusão dos serviços, estando já o sistema em condições operacionais.

Quando esse for o caso, o melhor é fazer a entrega formal do sistema, anotando-se no documento as pendências que possam haver. A empresa instaladora assume então a responsabilidade pela conclusão dos serviços interrompidos, tão logo hajam condições para tal.

A documentação técnica deve ser preferencialmente entregue com o sistema. O que nem sempre é possível pois, dependendo de seu conteúdo, sua preparação não é imediata. Isso é algo que deve ser previamente ajustado entre a empresa instaladora e o cliente, e se possível previsto em contrato, de forma que não se constitua num empecilho para a entrega formal do sistema.

A entrega da documentação técnica também deve ser feita mediante documentação.

10.5.10 Décima Fase - Treinamento Há clientes que de fato não precisam de treinamento. Há outros que precisam dele e sabem disso. E há os que precisam e não sabem.

Tudo isso deve ser discutido na etapa de fechamento de negócio, para que não haja problemas posteriormente.

Com efeito, diante de uma situação na qual o cliente precisa de treinamento, e sem saber disso, deixa de ser avisado, podemos esperar que imediatamente após a entrega do sistema comecem a surgir problemas. Claro, de operação.

Não imagine que o negócio pode deixar de ser feito porque o cliente pode ser levado a crer que a operação é algo muito complexo, ou porque ela custa.

Aqui, a postura comercial necessariamente deve ser muito profissional. Afinal, ao alertarmos o cliente para possíveis problemas futuros não estamos agindo em interesse próprio, mas no dele.

E certamente, isso será entendido no seu plano mais profissional.

Agora seria praticamente impossível entrar em detalhes de como deve ser o treinamento, pois sua elaboração abrange um espectro muito amplo de necessidades.

De um ou de outro modo, o treinamento deve estar sempre orientado para a operação e para a manutenção.

Ele deve ser apoiado pela documentação técnica, de modo que os indivíduos a serem treinados possam ter uma ideia tão ampla quanto possível do sistema instalado. De todos os seus recursos e de seus pontos fracos.

Finalmente, os melhores treinamentos são feitos tomando-se o sistema instalado como base de partida.

Em quaisquer casos, a empresa instaladora deve elaborar um programa de treinamento, o que se fará à luz da educação técnica e experiência dos treinandos. Esse programa deve ser previamente submetido à apreciação do cliente, que apresentará ou não sugestões.

O programa final deverá refletir o que for mais conveniente para as duas partes, privilegiando-se sempre os treinandos.

10.6 RIGGING

10.6.1 Introdução

Há autores que traduzem o termo “rigging” para içamento. De meu lado não vejo isso com bons olhos porque o significado desta expressão em inglês é muito mais abrangente, englobando a um só tempo uma longa série de tarefas, entre as quais estão: 1. estudo e análise da carga a ser movimentada e içada, particularmente seu peso 2. definição de como a carga vai ser atrelada e estabilizada para posterior içamento 3. /escolha dos principais materiais para içamento, entre os quais estão correntes, cabos de aço, cintas de poliéster ou combinações 4. escolha das lingas e de suas particularidades 5. escolha dos acessórios a utilizar, incluindo ganchos, cliques, manilhas, anelões, esticadores e tantos outros 6. escolha de eventuais acessórios de fixação como olhais, ganchos especiais, parafusos, parabolts e outros 7. definição dos pontos que conterão os acessórios que sustentarão a carga e escolhas desses acessórios específicos 8. opção pela maneira como a carga será içada 9. definição de todos os elementos ainda não definidos e que serão utilizados no içamento 10. localização espacial exata onde a carga deve permanecer após içada 11. formas de ajustar posicionamento e angulações da carga 12. conferência de que todos os componentes utilizados no içamento, como cabos e acessórios, tenham capacidade para realizar com bastante segurança o trabalho, com o Fator de Segurança (FS) pré definido 13. planejamento detalhado de toda a atividade

Em virtude desse grau de amplitude preferi não traduzir o termo, especialmente por “içamento”, que em português tem o sentido de levantar a carga com a ajuda de equipamentos, como talhas ou guinchos e nada mais. Portanto, rigging segue nas linhas adiante sem ser traduzido.

10.6.2 Conceitos primários 10.6.2.1 Planejamento O planejamento acima mencionado deve estar totalmente voltado para a segurança. Isso significa que devem haver planos específicos para controle de qualidade e da acuidade de todas as fixações, encaixes e atrelamentos, com a finalidade de evitar avarias que afetem quaisquer componentes e, mais importante, sinistros

envolvendo vidas humanas ou mesmo injúrias físicas de quaisquer naturezas. Essa deve ser a essência da mentalidade do profissional que pensa com antecedência no rigging.

Recomendo que o planejamento do rigging seja dividido em etapas, colocadas em sua ordem cronológica. Desse modo é possível atribuir prazos factíveis de execução a cada etapa e, se julgado necessário, incluir uma certa margem para imprevistos. Tal procedimento possibilita que seja elaborado um cronograma, documento vital para conter custos de instalação sem a imposição de compromissos com a qualidade, além de permitir que os prazos correntes sejam mantidos sob controle todo o tempo.

O planejamento completo e revisado de rigging deve anteceder o início efetivo dos serviços.

Peso, formato físico, centro de gravidade e eventuais dificuldades naturais que possam ser verificadas na carga são aspectos que devem ser conhecidos antes de se dar início ao planejamento. Afinal, esses elementos é que vão orientar a escolha de todos os equipamentos, materiais e acessórios do rigging, além das condições de içamento. Incluindo aí a opção mais adequada de máquinas como talhas, guinchos e outros.

Como em todas as etapas a preocupação com a segurança deve ser uma constante, cada um dos elementos e acessórios que serão utilizados deve estar, comprovadamente, apto para realizar o trabalho a ele destinado. As correspondentes resistências mecânicas devem ser escolhidas em função da necessária segurança das atividades. Isso se aplica a qualquer item por menor que seja. Até mesmo a pequenos parafusos, arruelas e porcas.

Você conhece o ditado. O elo mais fraco da corrente determina sua resistência. O mesmo se aplica ao rigging. Sem esquecer a capacidade e resistência da estrutura na qual a carga vai ser ancorada. Seja ela uma estrutura de aço, ou de concreto, ou de madeira, além de combinações.

A figura 10.91 ilustra essa ideia. Veja que há vários elementos de içamento, sendo o mais fraco deles o olhal da própria carga, cuja capacidade neste exemplo é 2 toneladas. Como todos os demais elementos têm capacidade superior, a capacidade de todo esse conjunto é apenas 2 toneladas.

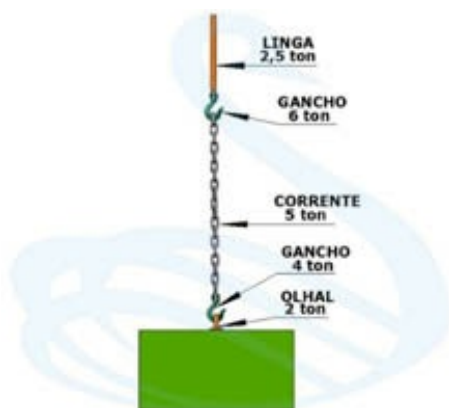


figura 10.91 o elo mais fraco da corrente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Inclusive por essa razão é imperativo conhecer o peso da carga. Em sistemas profissionais de áudio nem sempre isso é

fácil. Ajuda muito quando a empresa instaladora se antecipa e solicita todos os pesos de todas as partes a içar bem antes de se dar início ao planejamento do rigging.

Por exemplo, se uma empresa precisa içar duas pilhas de caixas acústicas line array formadas por 12 elementos mais 4 subwoofers, é preciso solicitar da fábrica das caixas o peso de cada caixa acústica, de cada subwoofer e, ainda, de cada elemento da ferragem que vai ser utilizada. Ao montante de todos esses valores é preciso adicionar os pesos de bumpers, de grides e de pertences usados no arranjo, como ganchos, parafusos, *etc.*

Naturalmente é preciso considerar o peso dos cabos elétricos e dos conectores utilizados e, quando é o caso, de todos os itens adicionais como, por exemplo, amplificadores individuais associados a cada uma das caixas acústicas e aos subwoofers.

O peso de toda a estrutura de içamento também deve ser considerada. Aí entram correntes, cabos de aço, cintas de poliéster, acessórios de todos os tipos e espécies, *etc.*

No final, é sempre conveniente acrescentar 10% ao total para que se mantenha alguma margem de segurança para imprevistos, para variações de peso determinadas por tolerâncias diversas e outros fatores que possam gerar desvios eventuais.

Em alguns casos pode ser preciso calcular o peso de alguns elementos. Para tanto, facilita muito saber a densidade de alguns materiais. É o que mostra a tabela 10.9.

tabela 10.9

MATERIAL	Kg/m³
borracha natural	920
água	1.000
madeira	500 – 900
PVC	1.400
vidro	1.600 – 2.700
alumínio	2.700
titânio	4.550
cromo	7.100
estanho	7.300
ferro	7.800
aço inoxidável	7.900
latão	8.500
bronze fosfórico	8.800
bronze	8.830
cobre	8.900
níquel	8.910
prata	10.500
chumbo	11.350
ouro	19.300
platina	24.100

10.6.2.2 Massa, Gravidade e Peso Massa é uma grandeza física fundamental. Sua definição clássica está contida na segunda Lei de Newton. Trata-se da medida de sua inércia, assim

entendida a resistência do corpo a ter seu movimento acelerado ou retardado. Quanto maior a massa maior é a inércia. Exemplo: é mais fácil acelerar um kart do que um automóvel. Assim como é mais fácil frear uma motocicleta do que um caminhão.

A massa de um corpo é sempre a mesma em qualquer local do planeta terra. No sistema Internacional de Unidades (SI) a massa é expressa em quilogramas (kg).

Imagine um corpo qualquer. Por exemplo, um piano. Imagine ainda que ele está simplesmente apoiado no chão, como na figura 10.92.



figura 10.92 piano de cauda simplesmente apoiado sobre o piso cortesia Steinway & Sons Esse piano tem uma certa massa. Que podemos chamar de “m”.

Ele fica “preso” ao chão porque a atração da gravidade terrestre exerce sobre ele uma força, que podemos chamar de “F”.

A relação entre a massa “m” e a força “F” é dada por

$$F = m \cdot g$$

sendo

- g a aceleração da gravidade terrestre.

O que chamamos comumente de peso é na realidade a força F .

Note que, como disse acima, a massa “ m ” do piano é sempre a mesma em qualquer parte da terra. Mas já o peso do piano depende da altura do objeto em relação ao nível do mar. Por exemplo, ele é mais pesado ao nível do mar do que é quando está num sítio a 1.500 metros de altura em relação ao nível do mar. Porque a atração gravitacional é menor na medida em que a altura acima do nível do mar aumenta.

A ação da gravidade terrestre é uma força que se desenvolve entre o planeta terra e qualquer objeto que esteja nele. As forças são exercidas mutuamente. Ou seja, a terra atrai o piano assim como o piano atrai a terra. Essa força é proporcional ao produto das massas dos dois corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Portanto, a força exercida pela terra no piano é a mesma que a exercida pelo piano na terra. Considerando-se as massas do piano e a do planeta terra, a força que o piano exerce sobre o planeta terra é totalmente desprezível.

10.6.2.3 Centro de Gravidade, Equilíbrio e Estabilidade Centro de Gravidade (CG) de um corpo qualquer é o local exato que representa a localização média de todo o peso do objeto. Portanto, o peso do objeto é distribuído uniformemente em torno do CG.

Isso significa que o peso de todo o objeto age através do CG.



figura 10.93 deslocamento do centro de gravidade com o deslocamento da massa acervo do engº Luiz

Fernando O. Cysne Veja a figura 10.93. Na representação 1 vemos uma tábua sem nada em cima. Considerando que a madeira tem massa bem distribuída por todo o corpo, o CG se situa no centro da prancha. Na representação 2 foi colocado um saco com areia na extremidade esquerda da madeira. O que desloca o CG para a esquerda. Podemos dizer que o peso da prancha à esquerda da seta azul mais o peso do saco são iguais ao peso da parte da prancha que fica à direita da seta azul.

Na representação 3 o saco de areia é maior e mais pesado que o anterior. O que desloca o correspondente CG ainda mais para a esquerda.

O Centro de Gravidade também é chamado Baricentro e Centro de Massa.

Um bloco de madeira de, digamos 1,0 metro de largura, por 0,30 metro de altura por 0,40 metro de profundidade, que dimensionalmente se assemelha a uma caixa acústica line array, tem um CG como indicado com o círculo verde na figura 10.94.1

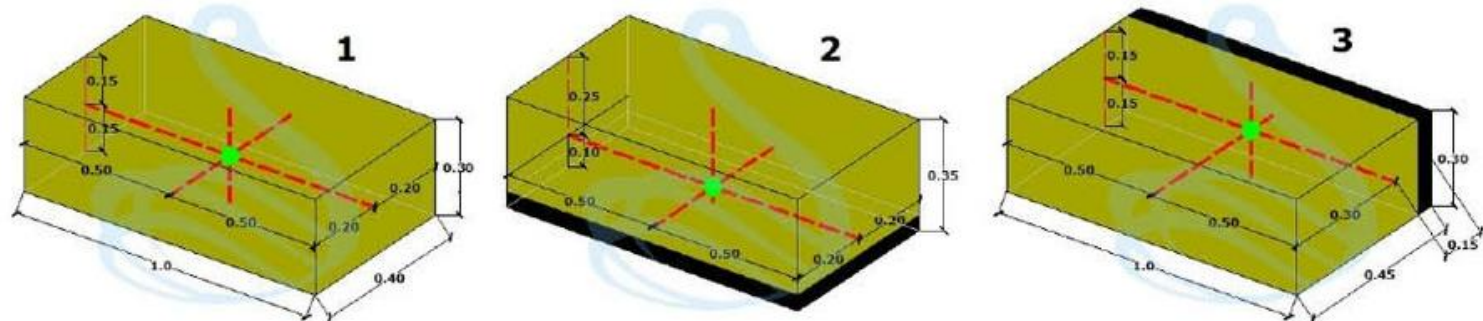


figura 10.94 deslocamento do CG por força de incremento assimétrico de massa acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 10.94.2 a face inferior do bloco de madeira foi revestida com uma lâmina metálica com altura de 5,0 centímetros. Como o metal é muito mais denso que a madeira o CG foi deslocado para baixo do bloco. Na figura 10.94.3 não há lâmina metálica na face inferior do bloco, mas sim na face traseira. Isso desloca o CG do conjunto para os fundos do bloco.

Creio que esses conceitos são facilmente assimiláveis já que vivemos esses mesmos efeitos na prática todos os dias.

A figura 10.95 é uma cópia parcial da documentação construtiva de minhas caixas line array da linha C212. Note que em todas as vistas aparece um círculo com 4 setores, dois deles opostos e cheios na cor preta. Esse é o símbolo oficial e clássico de Centro de Gravidade.

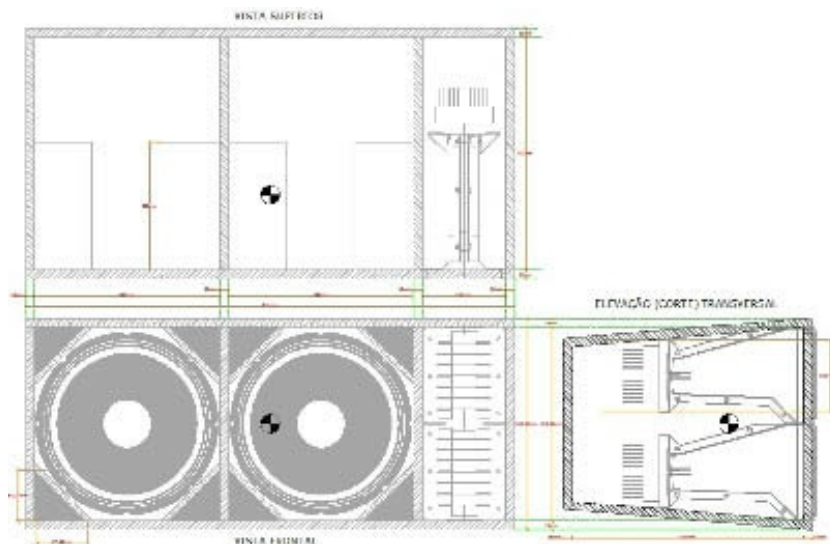


figura 10.95 desenho construtivo da caixa line array C212 com informação 3D do Centro de Gravidade acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

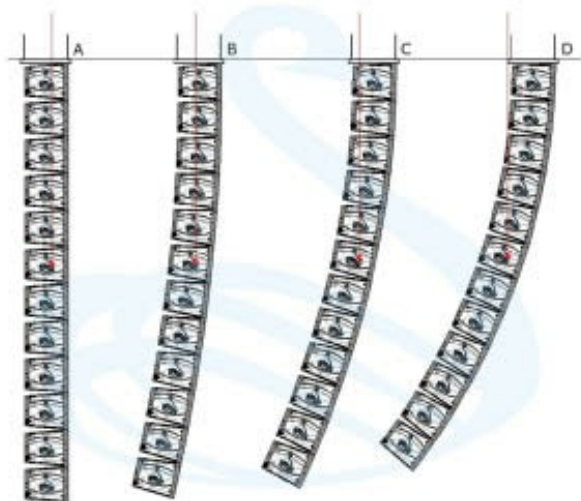


figura 10.96 diferentes arranjos físicos de pilhas line array com 12 elementos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Em quaisquer casos de rigging de sistemas profissionais de áudio temos muito interesse em conhecer ou determinar o CG das caixas acústicas, das pilhas line array e dos cluster que serão içados. Isto porque, como será visto, é fundamental que os içamentos sejam estáveis e,

principalmente, equilibrados.

Vejamos isso com alguns exemplos.

Em 10.96.A vemos uma pilha montada verticalmente. A marca vermelha na sexta caixa acústica de cima para baixo mostra o CG da pilha, que fica suspensa por um bumper pouco mais profundo do que a profundidade das caixas empilhadas. As linhas pretas mais espessas acima do bumper representam os cabos por onde a pilha ficará suspensa. Note que a linha vertical, indicada em cor vermelha, que passa pelo baricentro da pilha, fica entre os dois cabos de fixação do bumper. O que aponta para uma condição estática equilibrada e estável.

Na figura 10.96.B a caixa acústica superior foi ajustada com inclinação de 1° em relação ao plano horizontal. A segunda caixa foi ajustada com ângulo de 2° e assim sucessivamente, até que a décima segunda caixa – a inferior – foi ajustada com angulação de 12° . Veja que a linha vertical vermelha que passa pelo baricentro da pilha ainda permanece entre os dois cabos de suspensão do bumper. Portanto, essa também é uma condição estática equilibrada e estável.

Na figura 10.96.C a primeira caixa superior foi ajustada com ângulo de 2° em relação ao plano horizontal e cada uma das caixas subsequentes foi ajustada com o mesmo ângulo da caixa anterior mais 2° . Pelos parâmetros vistos anteriormente ainda temos uma condição estática equilibrada e estável.

Na figura 10.96.D a primeira caixa foi ajustada com ângulo de 3° em relação ao plano horizontal. Cada caixa subsequente foi ajustada com o ângulo da caixa imediatamente superior mais um adicional de 3° . Veja que agora a linha vermelha que passa pelo CG da pilha não fica mais entre os dois cabos de suspensão do bumper. O que é o suficiente para detonar o equilíbrio e a estabilidade da montagem. Logo, essa pilha não pode ser montada desse modo.

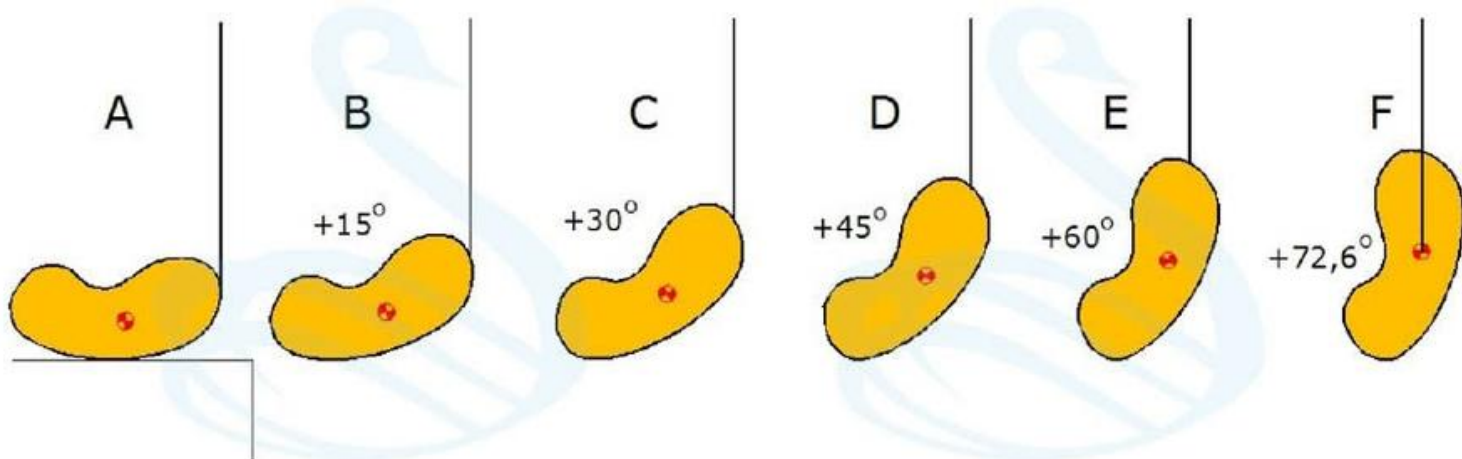


figura 10.97 o içamento de uma batata acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja o porquê na figura 10.97. O desenho 10. 97.A mostra uma batata comum descansando sobre o tampo de uma mesa. As demais figuras, vistas da esquerda para a direita, formam uma espécie de filme enquanto a batata é içada pelo fio atrelado a ela. Em 10. 97.B a batata já foi içada um pouco e a “foto” foi tirada no momento exato em que a batata girou 15° no sentido anti-horário, sendo o ponto de bascula o local exato onde a batata está presa ao fio de içamento.

Em 10. 97.C a batata foi içada mais um pouco e a “foto” foi tirada quando a batata havia girado 30° no sentido anti-horário. Ainda, em torno do mesmo ponto de bascula.

O desenho 10. 97.D é a “foto” da batata içada um pouquinho mais, quando ela havia girado 45° no sentido anti-horário. Claro, em torno do mesmo ponto de báscula.

O desenho 10. 97.E mostra a “foto” da bata içada ainda mais, no ponto em que ela havia girado 60° no sentido anti-horário. Sem alteração do ponto de báscula.

Até que a batata para de girar. Momento esse captado pela “foto” do desenho 10. 97.F. O giro total da bata em relação ao ponto onde a batata está presa ao fio   $72,6^\circ$. Note que agora o fio que prende a batata e o CG da mesma estão exatamente na mesma vertical.

Essa é precisamente a essência do conceito de CG. Seja lá qual for o corpo suspenso por um fio, independentemente de peso, de formato, de material ou qualquer outra característica do corpo, o fio de içamento acaba passando pelo CG. Pois essa é a condição de equilíbrio. E  , até mesmo, uma das formas de se determinar experimentalmente o CG de qualquer corpo.

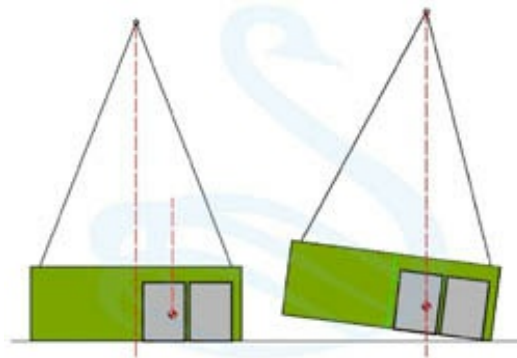


figura 10.98 o içamento de uma carga real acervo do eng  Luiz Fernando O. Cysne A sequência da batata pode ser bastante ilustrativa do ponto de vista cinemático, mas creio que não permite antever com clareza o que ocorreria com uma carga real sendo içada numa situação de falta de equilíbrio e instabilidade.

Veja então a figura 10.90, que preparei com esse objetivo. No lado esquerdo a carga ainda não foi içada. Assim que a carga começa a ser içada ela tomba como no lado direito da figura para que haja alinhamento vertical entre o ponto de içamento superior e o CG da carga. Simples assim.

Considere o que pode ocorrer quando a situação é semelhante   da figura 10.96.D e no lado direito da figura 10.98. Atenção para figura 10.99.

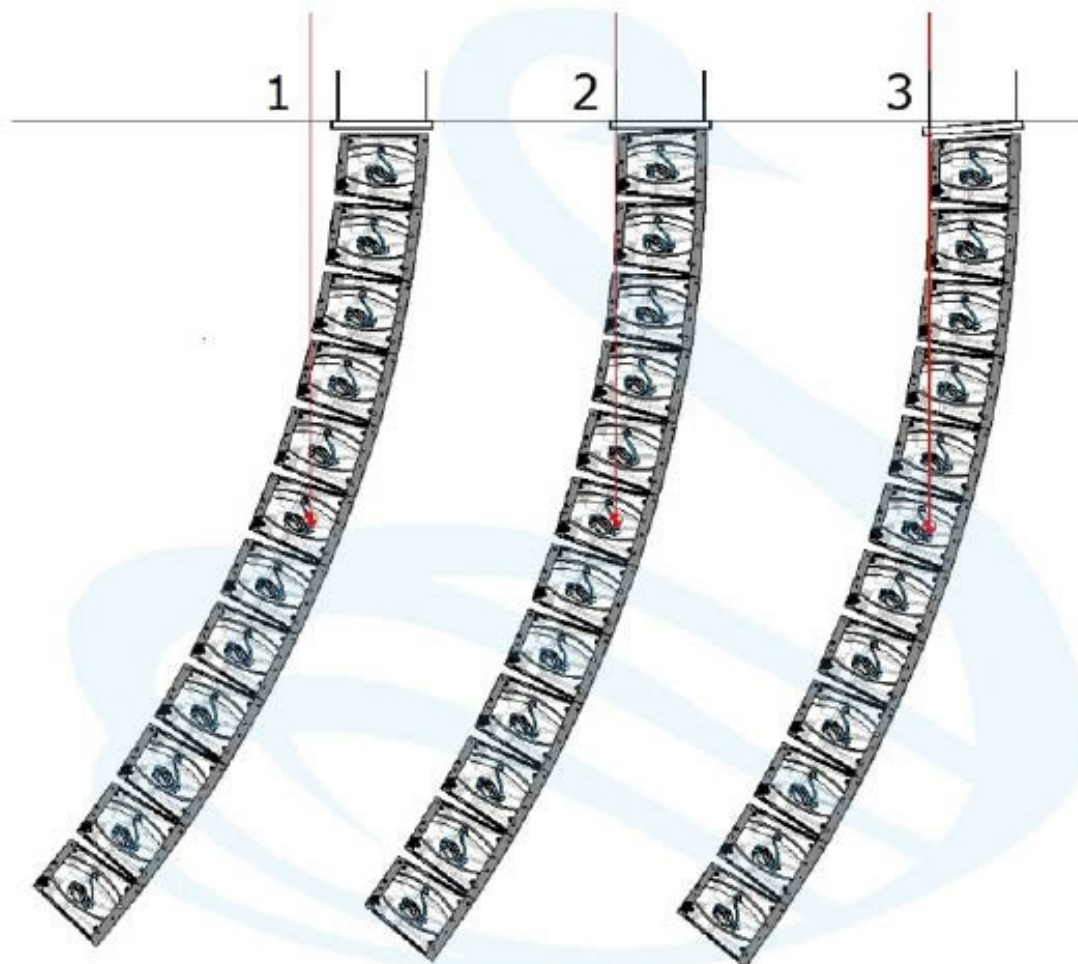


figura 10.99 a tendência natural de giro da pilha em busca de uma situação de equilíbrio e de estabilidade acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O desenho 10.99.1 é semelhante à figura 10.96.D, apenas com um pouco mais de ênfase na angulação para distanciar mais a vertical que passa pelo CG da pilha e do bumper superior.

Como a vertical que passa pelo CG da pilha fica relativamente afastada dos dois fios que sustentam o bumper, a situação é instável e a pilha vai girar – como na batata da figura 10. 97 e na carga da figura 10.98 – até que uma situação de equilíbrio seja alcançada.

Se a pilha não estiver fixada de forma solidária com o bumper, de sorte que possa haver movimento entre ambos, a pilha irá girar sozinha até que a vertical que passa pelo CG fique alinhada com o fio mais esquerda do bumper. Ou seja, a pilha gira até que seja atingida uma situação de equilíbrio e de estabilidade. O que é ilustrado na figura 10.99.2. A pilha girou aproximadamente 5,6° no sentido anti-horário.

Se a pilha estiver solidariamente ligada ao bumper, haverá impedimento de movimento relativo entre pilha e bumper. Então, esse é o conjunto que irá bascular até que a vertical que passa pelo CG fique alinhada com a vertical de sustentação que fica atrás e acima do bumper. Veja isso na figura 10.99.3. Nesse caso, bumper e pilhas giraram aproximadamente os mesmos 5,6° que no caso anterior, ainda no sentido anti-horário.

Como resultado, o eixo da pilha “sobe” os mesmos 5,6° no sentido anti-horário. Podendo comprometer a cobertura acústica da área atendida pelo sistema. Entretanto, o pior não é isso. É que esse movimento degrada a segurança do arranjo. Se o bumper superior estiver sendo

fixado por quatro cabos, dois frontais e dois traseiros, apenas os dois traseiros estarão trabalhando e dividindo entre eles toda a carga imposta pela pilha. Ou seja, os dois cabos frontais não estarão colaborando em nada já que não ficam submetidos a quaisquer forças. A situação é perigosa porque o ideal é que todos os cabos fiquem submetidos a esforços iguais. Do contrário, a possibilidade de haver sobrecarga nos cabos mais solicitados aumenta bastante. O que, se não for levado em conta, poderá trazer sérios problemas.

Eis porque todos esses detalhes precisam ser analisados criteriosamente, suportados por cálculos cuidadosos e suficientes para assegurar que não venha a ocorrer situações de falta de equilíbrio e de instabilidades físicas em campo.

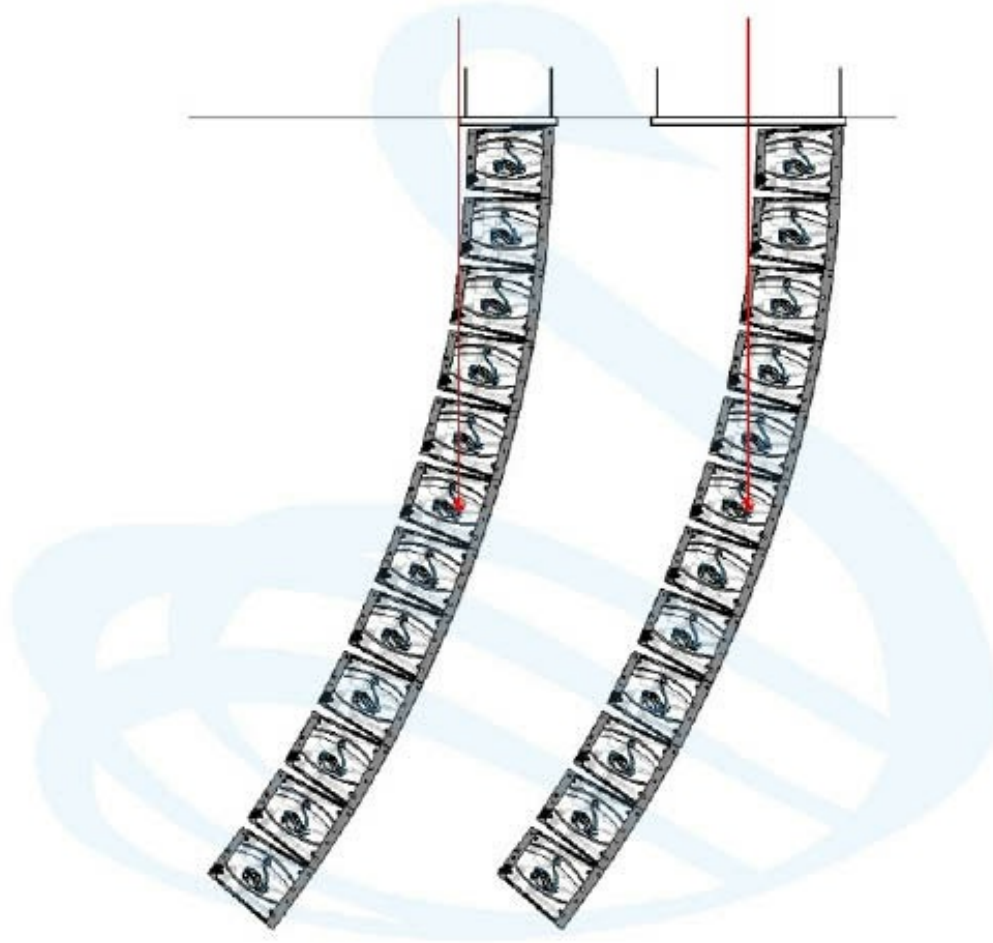


figura 10.100 a solução para neutralizar condição de falta de equilíbrio e de instabilidade acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.100 mostra uma das maneiras de se lidar com esse problema. A sugestão que está no lado direito da figura consiste em utilizar um bumper mais profundo do que o anterior. Porquê dessa maneira a vertical que passa pelo CG da pilha retorna à situação de estar entre verticais de sustentação do bumper. Sim, as que ficam acima dele.

Situação semelhante pode ocorrer quando se quer que a pilha fique espacialmente orientada para cima. O que é ilustrado na parte esquerda da figura 10.101. Do lado esquerdo uma situação comum de instabilidade.

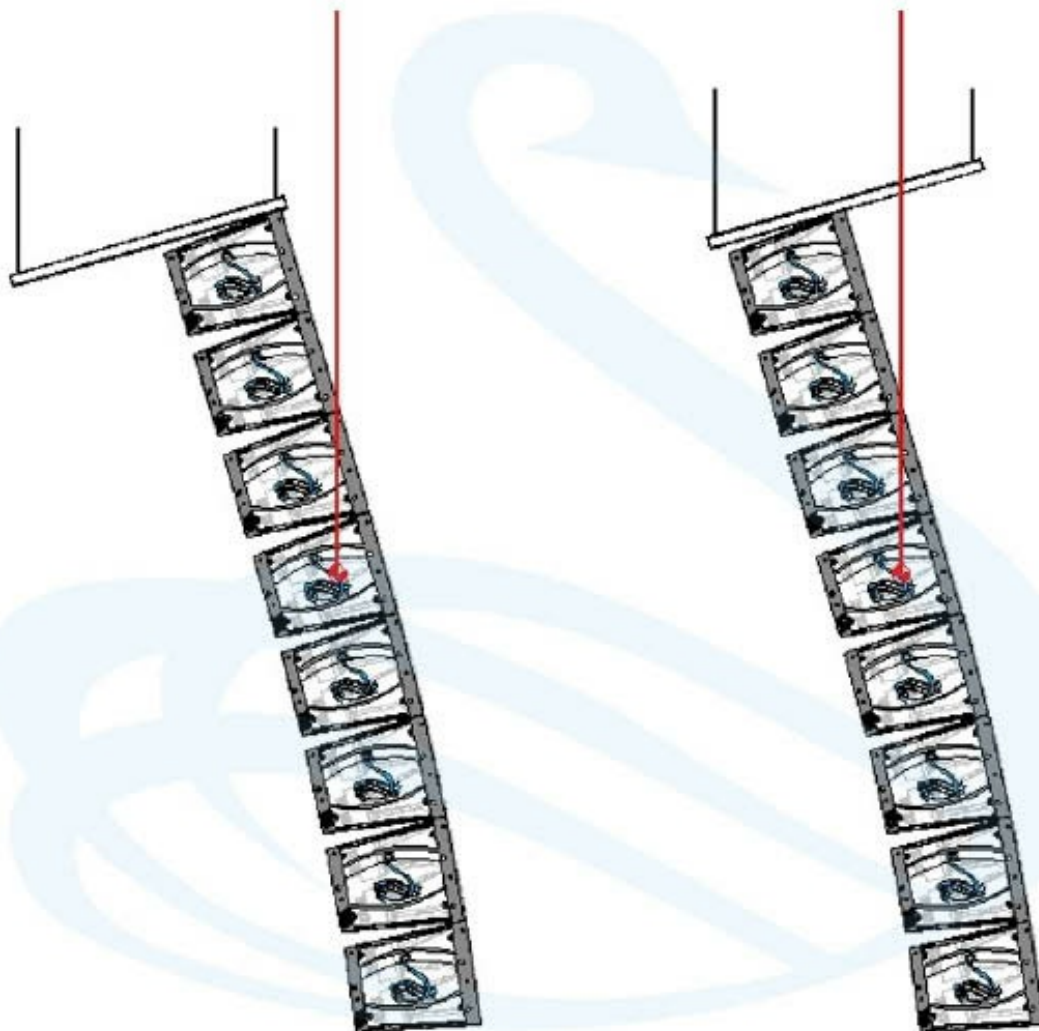


figura 10.101 problema e solução da pilha line array orientada para cima acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A solução natural é apontada no lado direito da mesma figura.

A figura 10.102 mostra uma situação comum e usual de pilha bastante extensa, cujo arranjo físico e montagem possibilitam uma condição natural de equilíbrio e estabilidade.

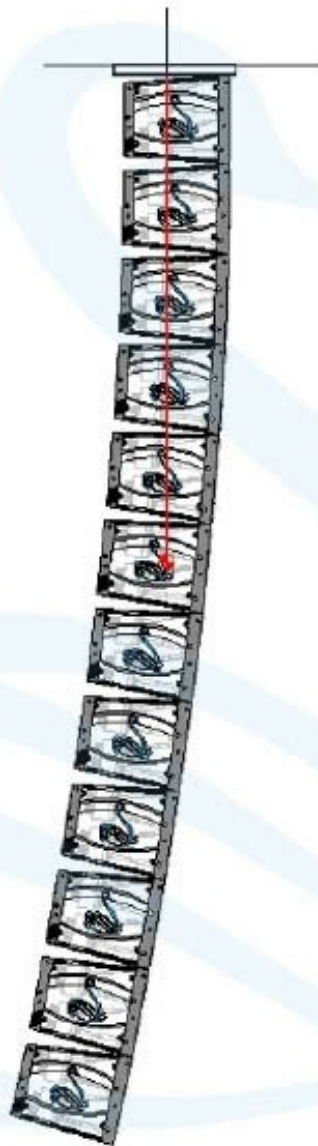


figura 10.102 situação ideal de equilíbrio e de estabilidade de uma pilha line array com 12 elementos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

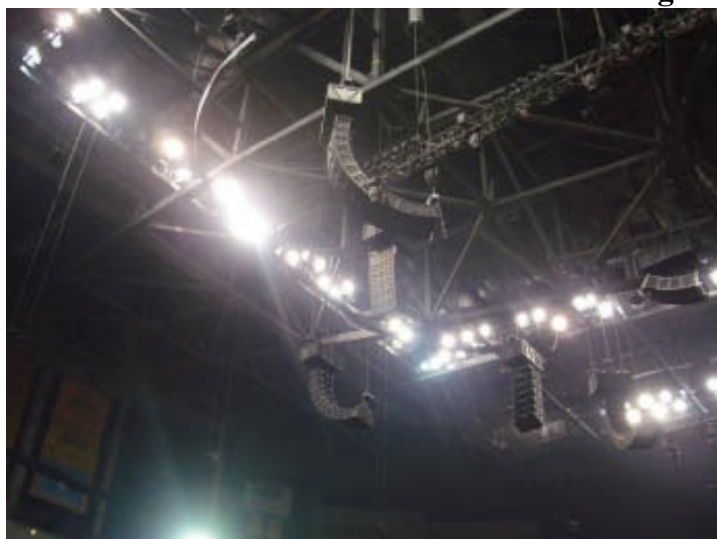


figura 10.103 parte superior do ginásio esportivo Staples Center, Los Angeles acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.103 é uma fotografia da parte superior do ginásio esportivo Staples Center, Downtown, Los Angeles, tirada por este autor.

Note como as pilhas line array são instaladas em arranjos que fogem bastante do convencional.

Procurou mostrar na figura 10.104 um caso genérico de instalações de pilhas line array com grande inclinação em relação aos planos verticais.

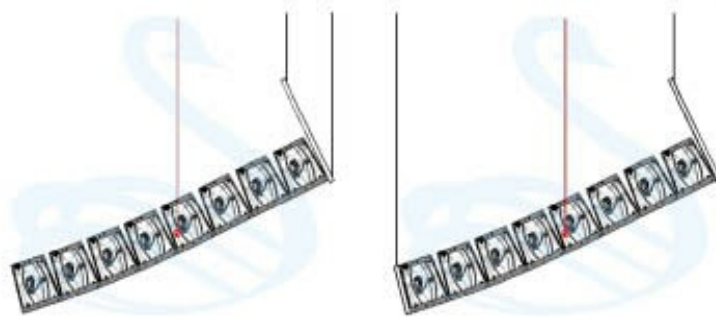


figura 10.104 problema e solução de pilha line array montada quase horizontalmente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No lado esquerdo está uma situação de flagrante falta de equilíbrio e de instabilidade em grau muito elevado.

Uma das formas de se lidar com essa geometria peculiar de instalação é usando um segundo bumper, na parte “inferior” da pilha, e içar todo o conjunto não só a partir do bumper superior, mas também a partir do bumper inferior.

Como mostra o lado direito da mesma figura.

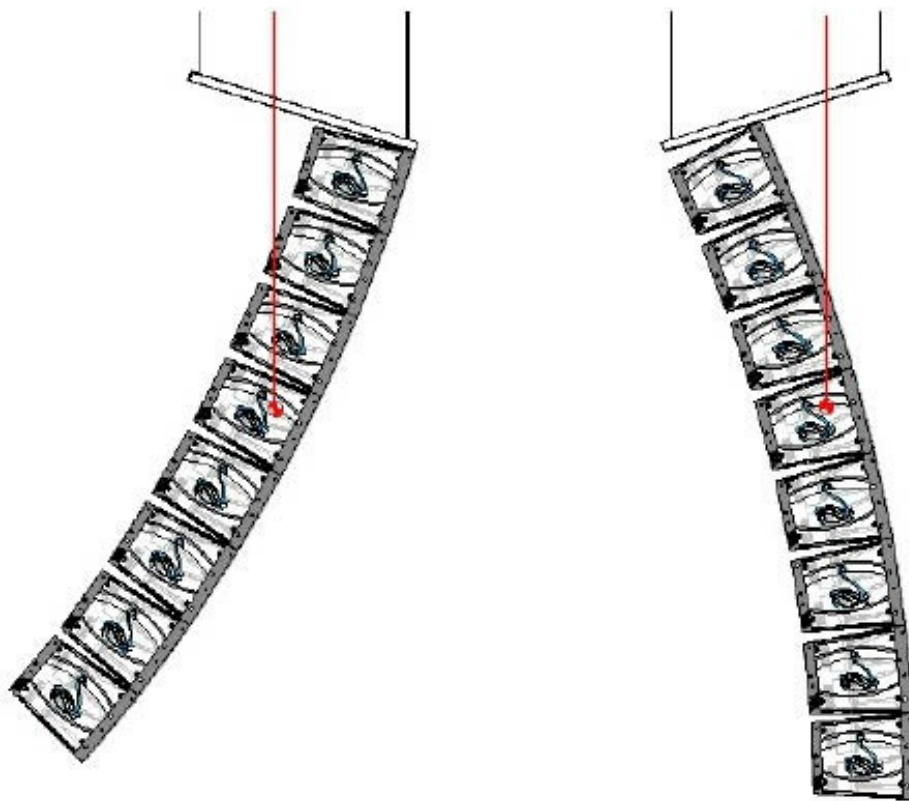


figura 10.105 sugestões de arranjo pilhas e bumpers para sistemas line array orientados para baixo, à esquerda, e para cima, à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outra montagem comum das pilhas line array é com inclinação para cobrir partes muito baixas da plateia, ou o inverso. Isto é, partes bem elevadas da plateia. Os dois arranjos da figura 10.105 mostram o que fazer para manter as duas situações em condição de equilíbrio estático e estabilidade.

10.6.3 Estruturas

10.6.3.1 Prólogo

Foi-se o tempo em que as caixas acústicas eram empilhadas nos dois lados do piso do palco. Em meu livro *Áudio Engenharia e Sistemas*, publicado no verão de 1989, menciono o termo “fly PA”.

Que era muito utilizado lá fora e pouco conhecido por estas bandas. Aos poucos o termo foi se tornando mais e mais usado no Brasil, até que caiu em desuso porque tudo era montagem fly PA.

Qualquer montagem assim utilizada as caixas elevadas em relação ao nível do piso. Em sistemas de pequeno porte, tipicamente para eventos de curtíssima duração, as caixas são simplesmente suportadas por pedestais fixos ou dispositivos elevatórios manuais ou hidráulicos com capacidade de altura reduzida.

Nos demais casos as caixas acústicas são fixadas em elementos estruturais.

Eventualmente através de talhas, o que possibilita deslocamentos verticais ascendentes e descendentes.

A figura 10.106 ilustra um caso típico de caixas acústicas penduradas em elementos estruturais.

No caso, uma pilha line array de um grupo de quatro pilhas, que projetei para um ginásio. O indivíduo que aparece na foto é um profissional altamente especializado no rigging de caixas acústicas.

A foto foi batida por ocasião da instalação. Mas veja o teto com seus elementos estruturais metálicos.



figura 10.106 pilha line array com 4 elementos instalada num ginásio esportivo pelo autor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Considero fundamental que o profissional do áudio tenha noções básicas mas sólidas a respeito dos tipos construtivos mais comuns e sobre estruturas construtivas elementares.

10.6.3.2 Estruturas de Concreto O concreto é o material mais utilizado no mundo, com a inebriante marca de uma tonelada métrica por habitante por ano. Faça umas continhas e não caia para trás. Os números não param de aumentar.

O concreto simples é a mistura em proporções bem definidas de cimento, água, areia e brita. Há diferentes proposições de mistura, e sua composição é chamada traço do concreto. Ou apenas traço.

Depois de endurecido o concreto apresenta boa resistência à compressão e reduzida resistência à tração, além de comportamento frágil.

Mas não se iluda. Não estamos falando de nada novo. Afinal, os romanos construíram o Pantheon, ilustrado na figura 10.107, obra que foi concluída no século II DC.

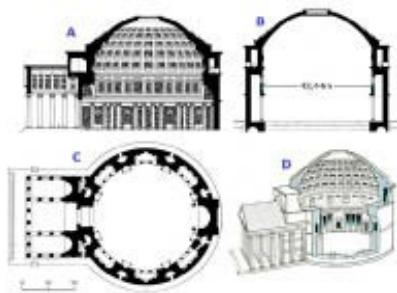


figura 10.107 10.107.A – vista lateral, 1.107.B - corte lateral com indicação do diâmetro interno da rotunda, 10.107.C – planta da edificação e 10.107.D – perspectiva mostrando na cor azul clara o uso do concreto Sabe o que os romanos utilizaram na obra? Perfeitamente. Concreto. Tal como o conhecemos hoje. O nome “concreto” tem origem no Latim com o termo original “concretus”, que significa endurecer junto.

Interessante ressaltar que a medida que é cúpula é mais elevada, mais leve era o concreto utilizado. Portanto, os romanos da época do Império Romano já dominavam totalmente as técnicas construtivas usando concreto. A ponto deles terem introduzido aditivos variados, inclusive argila, com o objetivo de tornar a mistura à prova de infiltrações, especialmente de água. O que foi feito com absoluto sucesso, deixando para a posteridade, inclusive os dias de hoje, um legado de sabedoria impressionante.

Portanto, esse é um assunto que pode ser classificado como bem entendemos, exceto algo na linha da novidade.

O concreto armado é o concreto simples equipado com armadura. Esta usualmente é feita com barras de aço. O método aumenta muito a resistência mecânica da mistura. A armadura do concreto armado não é inicialmente submetida a tensões físicas nem mecânicas.

O concreto protendido é aquele no qual a armadura é previamente submetida às tensões mecânicas, também chamadas protensão. Ou armaduras ativas.

CAD, ou Concreto de Alto Desempenho, é aquele que recebe, além dos agregados convencionais, sílica ativa e aditivos plastificantes. As propriedades estruturais do CAD são muito superiores às do concreto armado convencional.

Nas edificações, o concreto assume a forma de alguns elementos estruturais, entre os quais estão os que podem ser vistos na figura 10.108.

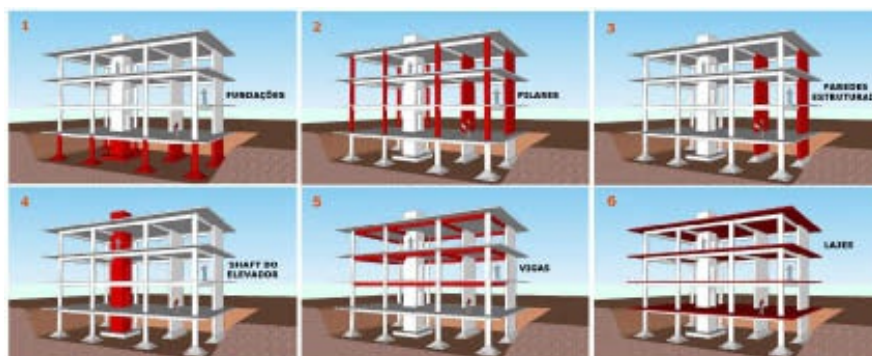


figura 10.108 elementos estruturais em destaque cortesia Understand Construction Na figura 10.108.1 as fundações estão em destaque na cor vermelha. Em 10.108.2 o destaque é para os pilares. As paredes estruturais são o foco da figura 1.108.3. A figura 1.108.4 coloca em evidência o poço do elevador, que pode ou não ser construído com propósitos estruturais. As vigas estão claramente enfatizadas na cor vermelha na figura 10.108.5 e, finalmente, a figura 10.108.6 mostras as lajes.

fundações

As fundações são os elementos construtivos em forma de blocos, sapatas, vigas, estacas e outras formas, sobre os quais repousam todos os demais elementos construtivos. Sua função é transferir para o solo todas as solicitações mecânicas e esforços estruturais impostos pela edificação e todos os seus elementos.

pilares

Elementos da maior importância nas estruturas de concreto. Sua função estrutural é receber todas as solicitações mecânicas das vigas e das lajes de todos os pavimentos superiores e transferi-los para as fundações.

paredes estruturais

Esta é, a rigor, outra forma de pilar. Apenas que com a espessura típica de uma parede ou pouco mais do que isso, com comprimentos que variam de pouco menos que 3,0 metros a vários metros. Esse formato faz com que as paredes estruturais pareçam fisicamente com paredes divisórias comuns.

A função estrutural de qualquer parede estrutural é a mesma que a dos pilares.

shaft do elevador

Os shafts dos elevadores podem ser feitos como elementos estruturais ou apenas como reserva de vão vertical por onde se deslocará verticalmente o elevador.

vigas

As vigas são barras horizontais que suportam as paredes, as solicitações mecânicas e as solicitações das lajes e/ou de outras vigas para transferi-las para os pilares e para as paredes estruturais.

lajes

As lajes são peças horizontais espessas, em forma de plataformas planas, sujeitas a várias solicitações mecânicas, as quais são transferidas para as vigas e posteriormente para os pilares e paredes estruturais. Entretanto, as funções mais importantes da laje são travar (amarrar na terminologia da engenharia civil) os pilares e distribuir as ações horizontais entre os elementos estruturais de contraventamento. Termo esse que descreve a técnica de organizar a estrutura completa de sorte que sejam formados pórticos muito resistentes na direção do fluxo dos ventos.

paredes não estruturais Além desses elementos há as paredes não estruturais que podem ser construídas com tijolos, com blocos de concreto, com pedra ou com placas de gesso, além de combinações.

As cargas mais comuns das edificações podem ser classificadas em: cargas mortas

Esse é o nome dado ao peso próprio da edificação, incluindo todos os elementos estruturais, paredes a quaisquer títulos, portas e janelas, fachadas completas, todos os sistemas técnicos, itens hidráulicos, tetos e coberturas, motores, geradores, tubulações, louças, *etc.*

cargas vivas

Força descendente produzida pela população presente na edificação, pertences, móveis, utensílios, itens de decoração e outros. A previsão de carga viva varia de 200 kg/m² em residências a 1.000 kg/m² em edificações industriais, ou mais em casos muito específicos e especiais.

carga dinâmica

Cargas produzidas nos códigos de construção, que podem chegar a 150 kg/m². Considere que a área superficial da frente de um prédio com largura de 20,0 metros e altura de 45,0 metros é nada mais nada menos do que 900,0 m². O que demanda uma carga dinâmica de 135.000 kg na fachada frontal!!

Os códigos não estipulam cargas produzidas por ventos típicos mas sim de ventos resultantes de condições extremas, cujos registros podem regredir a mais de 100 anos.

cargas de movimento de solo Mesmo não sendo o Brasil um país sujeito a terremotos e outros fenômenos sísmicos, sempre há algum movimento esporadicamente registrado no solo em um ou noutro lugar. Os códigos podem prever cargas de movimentos dos solos de acordo com a região e sempre consoante critérios técnicos e de viabilidade econômica.

10.6.3.3 Resistências Mecânicas As resistências mecânicas mais importantes do concreto são a resistência à compressão, a resistência à tração e a resistência à flexão, todas elas representadas na figura 10.109.

Em 10.109.A um cilindro de concreto sofrendo compressão e em magenta (com muito exagero) a deformação que sofre o corpo de prova.

A figura 10.109.B mostra o mesmo corpo de prova sendo tracionado por duas forças laterais. A deformação, também exagerada, é o que mostra a figura.

Em 10.109.C uma barra de concreto sendo submetida à flexão. Em magenta, e ainda com muito exagero, a deformação sofrida pela barra.

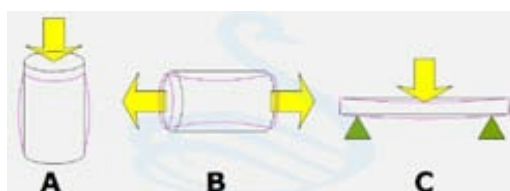


figura 10.109 corpos de prova de concreto sofrendo esforços físicos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A tabela 10.10 compila dados da norma brasileira NBR8653 – Concreto para Fins Estruturais.

tabela 10.10

CLASSE DE RESISTÊNCIA	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO (Mpa)
C10	10
C15	15
C55	55
C60	60
C70	70
C80	80
C90	90
C100	100

O termo Mpa é símbolo para MegaPascal, unidade de pressão equivalente a aproximadamente 10,1972 kgf/cm².

Os números da tabela 10.10 dão uma boa ideia das possibilidades de resistência de diversas qualidades de concreto à compressão.

10.6.3.4 Estruturas Metálicas



figura 10.110 vista geral de uma estrutura metálica de médio porte cortesia Understand Construction
As estruturas metálicas, como a ilustrada na figura 10.110, usam um tipo especial de aço, que é o aço com baixo teor de carbono. O percentual máximo de carbono nesse tipo de aço é de não mais do que 0,25% na composição final.

Para que você tenha uma noção da consistência desse aço, pense numa barra maciça circular com diâmetro de 2,5 centímetros. Imagine agora que você possa fixar essa barra com toda segurança na parte superior de uma estrutura qualquer. Pois bem, essa barra é capaz de suportar peso de 20 toneladas sem romper!

Ora, 20 toneladas é o peso de aproximadamente 3 elefantes africanos adultos. Pode?

Uma das grandes vantagens do aço é a flexibilidade. Que conta muito diante das cargas dos ventos e de movimentos do solo.

Ao lado dessas vantagens está a do peso próprio reduzido. Quer ver? Seja uma sala com formato caixa de sapato, com dimensões 8,0m x 3,0m x 5,0m (L x A x P). Construído em aço a

estrutura pesará 2,6 toneladas. Já em concreto o peso será de 32 toneladas. Mais do que 12 vezes o peso do metal.

Como no caso do concreto as estruturas metálicas apresentam resistência mecânica à compressão, à tração e à flexão.

A grande desvantagem das estruturas metálicas é que suas resistências mecânicas são muito reduzidas pela ação do calor. Portanto, em casos de incêndio o comportamento das estruturas metálicas é sofrível. Um bom exemplo disso é o do World Trade Center em Nova Iorque, que em 2007 sofreu o impacto de duas aeronaves.

A figura 10.111 apresenta uma estrutura metálica do gênero geodésica.



figura 10.111 estrutura metálica geodésica cortesia Understand Construction A resistência desse tipo de estrutura deve-se a maneira como os triângulos são unidos. Assim, qualquer força aplicada ao domo se distribui igualmente até a base, tal como ocorre com os arcos tão famosos por essa característica.

As geodésicas são muito utilizadas em ginásios, arenas, quadras poliesportivas e outras construções de médio e grande porte.

A figura 10.112 mostra alguns trusses de comprimentos mais comuns.

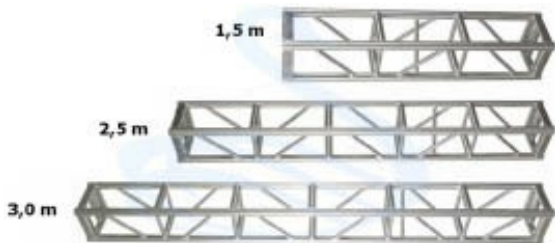
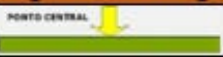


figura 10.112 trusses de três comprimentos mais comuns acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No que diz respeito às cargas, a tabela 10.11 resume as situações de uso mais típicas.

tabela 10.11

notas	cargas máximas permitidas para distribuição uniforme								
									
distância metros	carga kg/m	carga kg	deform max	carga kg	deform max	carga kg	deform max	carga kg	deform max
3,05	708	2.141	1,75	1.229	1,72	791	1,78	503	1,85
6,10	173	1.043	1,78	547	1,55	403	1,85	287	1,85
9,14	90	816	4,21	399	3,43	272	8,89	194	4,04
12,2	46	562	6,9	262	5,38	200	6,76	140	6,55

10.6.3.5 Estruturas de Madeira Para finalizar as estruturas, vejamos rapidamente as de madeira.

Embora mais empregadas em residências, essa forma de estrutura é relativamente comum em igrejas antigas, auditórios e pequenas construções. No que se refere às resistências mecânicas, os conceitos São semelhantes ao que discutimos para o concreto. Entretanto, é sempre fundamental consultar uma tabela de resistências para madeira, uma vez que há grande variação para o mesmo tipo de madeira, inclusive com as mesmas dimensões. O que decorre da estrutura interna da madeira, fator definido pelas características da terra onde a madeira foi plantada, da idade da árvore, de quanto de umidade a madeira está retendo, do corte, da forma de montar, *etc.*

10.6.4 Parafusos

10.6.4.1 Prólogo

A importância dos parafusos é evidente. Afinal eles são utilizados em todas as estruturas que discutimos. Mas não só aí, de vez que o rigging é muito dependente dos parafusos. Portanto, vejamos algumas ideias básicas por trás dos parafusos.

Atenção para a figura 10.113. Lá estão alguns tipos de parafusos organizados de acordo com suas aplicações.



figura 10.113 alguns tipos de parafusos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.114 é um desfile de tipos de cabeças.



figura 10.114 diferentes cabeças de parafusos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A forma de atuar sobre o parafuso é determinada pelo formato do atuador da cabeça. A figura 10.115 exhibe alguns desses.



figura 10.115 formas de atuar sobre os parafusos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.116 mostra 16 tipos diferentes de porcas.



figura 10.116 alguns tipos diferentes de porcas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Outro componente muito importante no que se refere aos parafusos são as arruelas. A figura 10.117 exhibe os principais tipos de arruelas utilizados em sistema profissionais de áudio.



figura 10.117 alguns tipos de arruelas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.118 oferece uma noção primeira da terminologia própria associada com as roscas dos parafusos.

As roscas dos parafusos podem ser triangulares, trapezoidais, redondas, quadradas e dente de serra. As roscas triangulares são utilizadas nos parafusos de máquina, enquanto as demais são empregadas quase que exclusivamente em parafusos que trabalham em movimento.

Além disso, as roscas podem ser de passo grosso (UNC), de passo fino (UNCF) e de passo ultrafino (UNCUF).

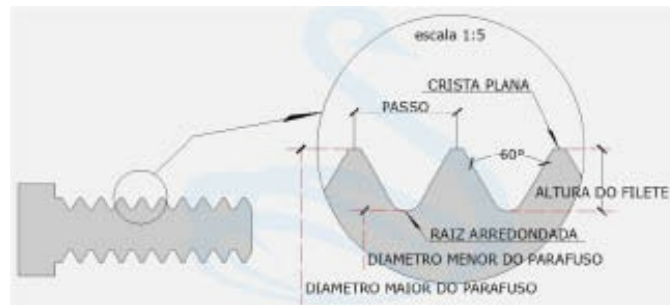


figura 10.118 terminologia relacionada com as roscas dos parafusos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A série grossa é empregada em casos de inserções e remoções repetidas. Já as roscas finas estão menos propensas ao afrouxamento provocado por vibrações e são as que devemos utilizar em sistemas profissionais de áudio. As roscas ultra finas são de grande valia quando a espessura das paredes mostra-se limitada.

Os três padrões de rosca triangular são o métrico (ISO), o inglês ou whitworth e o americano. As roscas do sistema métrico são especificadas em milímetros. Os filetes são triangulares com ângulo de 60° , a crista é plana e a raiz arredondada como na figura 10.28.

Já no padrão whitworth as roscas são especificadas em polegadas, os filetes são triangulares com ângulos de 55° , com crista e raiz arredondadas.

No sistema americano as roscas também são especificadas em polegadas. Os filetes são triangulares com ângulo de 60° . A crista é plana e a raiz arredondada.

10.6.4.2 Materiais Utilizados na Fabricação Como preconiza a figura 10.119, os parafusos são fabricados numa enorme variedade de materiais, passando aço inoxidável e pelo titânio, mas chegando à madeira e ao plástico.

Os parafusos metálicos são classificados em materiais diferentes e, eventualmente, ainda reclassificados conforme ligas, processos de têmpera, *etc.* Os acabamentos também são pródigos.

O que varia conforme critério. Por exemplo, para conferir um determinado visual agradável ou para resistir à corrosão.



figura 10.119 materiais utilizados na fabricação dos parafusos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne aço inoxidável

Esta é uma liga com teor de carbono reduzido e uma certa quantidade de cromo para ampliar as propriedades de resistência à corrosão. Por isso mesmo indicado para ambientes

externos e litoral, onde o ar marinho tende a atacar mais rapidamente os metais.

aço zincado

Esta também é uma liga com teor de carbono reduzido, recomendado para aplicações gerais. É relativamente barato. O zinco oferece moderada resistência à corrosão. Não recomendado para aplicações externas e muito menos para o litoral.

aço bicromatizado

Eletrodeposição de uma primeira camada de zinco e uma segunda de cromo de baixo nível de porosidade. A finalidade é oferecer proteção extra contra corrosão.

No caso dos parafusos, o substrato deve ser sempre o aço.

aço bicromatizado a quente A camada de zinco é muito espessa para incremento das propriedades anticorrosivas. Recomendado para uso externo. Entretanto, em razão dessa espessura considerável da camada externa, apenas arruelas e porcas apropriadas para essa utilização são recomendadas. Todas as demais poderão apresentar problemas de adaptação mecânica em graus variados.

zinco + cromo

Variedade de bicromatização, usualmente polido para seja utilizado em aplicações nas quais o visual é importante. Resistência à corrosão mediana.

latão

Liga de cobre com zinco. Muito resistente à corrosão. Entretanto, é um material muito dúctil, o que limita muito sua utilização.

Alternativamente podem ser empregados parafusos de bronze silício, que é uma liga de cobre com estanho e uma pequena parte de sílica. Excelentes propriedades contra corrosão e, por isso mesmo muito apreciado em aplicações náuticas.

cobre

Semelhante aos parafusos de bronze.

ligas de aço

Usualmente parafusos com elevado grau de dureza.

Normalmente fornecidos em cor preta ou protegidos por fina camada de óleo ou graxa. Reduzida capacidade à corrosão.

10.6.4.3 Tração e Cisalhamento na Prática Os parafusos mais utilizados em sistemas profissionais de áudio trabalham submetidos a cargas de tração.

Como no lado esquerdo da figura 10.120.

Mas também trabalham com cargas de cisalhamento, como no lado direito da mesma figura.

Como estamos falando de parafusos para uso em rigging de caixas acústicas, recomendo que você adote meu princípio fundamental do rigging, que é: **TUDO O QUE SOBE DEVE FICAR LÁ MESMO**

Para tanto, é fundamental não assumir riscos com parafusos. A melhor maneira de fazer isso é não achando nada. Especialmente algo na linha do “acho que aguenta, sim”. Esqueça essa atitude e comece a calcular. Mesmo que você Não tenha pendor para a matemática. As contas são mais simples.



figura 10.120 exemplos de cargas cujos parafusos de fixação estão submetidos a forças de tração (à esquerda) e de cisalhamento (à direita) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Com certeza de longo muito mais simples do que ter que fechar orçamentos domésticos nesses dias em que os preços não

param de aumentar.

Quer apostar?

Quando um parafuso é submetido a uma força de tração a tensão sobre ele é dada por:

$$T_T = \frac{F_T}{A_T}$$

onde

• T_T é a Tensão de Tração procurada • F_T é a força de atração aplicada ao parafuso, e • A_T é a área sob tração. A Área sob Tração pode ser aproximada para 65% da seção nominal do parafuso. Porquê? Por que essa é a menor área de seção transversal na região da rosca do parafuso. Veja o detalhe na figura 10.121.



figura 10.121 área efetiva do parafuso que fica submetida à tração acervo do engº Luiz Fernando O.

Cysne Vamos fazer um exerciciozinho para você ver como é moleza?

Queremos saber se um parafuso de aço SAE1030, com tensão de tração máxima de 1.200 kgf/cm² suporta uma carga de 150 kgf. O diâmetro nominal do parafuso é 4,0 mm (0,4 cm).

Começamos calculando a área sobre tração:

$$A_T = (\pi/4) \cdot (0,4)^2 \cdot 0,65 \approx 0,082 \text{ cm}^2$$

Então

$$A_T = 150/0,082 \approx 1.829 \text{ kgf/cm}^2$$

Portanto, o parafuso **não suporta** a carga.

Vejamos um segundo exemplo. Agora o parafuso é de aço SAE8640 com tensão de tração máxima de 1.200 kgf/cm² e o diâmetro é ½ polegada, ou 1,27 cm. Queremos saber se ele suporta carga de 400 kgf.

$$A_T = (\pi/4) \cdot (1,27)^2 \cdot 0,65 \approx 0,82 \text{ cm}^2$$

Segue que

$$A_T = 400/0,82 \approx 487 \text{ kgf/cm}^2$$

Isso significa que esse parafuso **suporta** a carga com ampla margem.

Agora a questão do cisalhamento. Quando o parafuso é submetido a forças de cisalhamento, a tensão sobre ele é

$$T_c = \frac{F_c}{A_c}$$

onde

• T_C é a Tensão de Cisalhamento procurada • F_C é a força de cisalhamento aplicada ao parafuso, e • A_C é a área submetida ao cisalhamento, expressa por

$$A_C = \pi \cdot d_m \cdot W \cdot P$$

onde

- d_m é o diâmetro menor, agora 80% do diâmetro nominal
- W é o fator de percentagem do passo ocupado pelo metal no diâmetro d_m , cujo valor é dado de forma aproximada pela tabela 10.12, e
- P é o passo da rosca tabela 10.12

W	ROSCA
0,8	UNSI/ISO
0,5	QUADRADA
0,63	TRAPEZOIDAL
0,83	BOTARÉU

Para ficar legal vamos fazer um outro exercício, agora de cisalhamento.

O parafuso tem rosca ISSO com diâmetro nominal de 10 mm (1,0 cm) e passo de 1,5 mm (0,15 cm). Queremos saber se ele resiste a uma tensão de cisalhamento de produzida por carga de 400 kgf. Esse parafuso é de aço SAE8640 com tensão de cisalhamento máxima de 900 kgf/cm².

Nossos cálculos:

$$A_c = \pi \cdot d_m \cdot W \cdot P = \pi \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,15 \approx 0,377 \text{ cm}^2$$

e

$$T_c = 400 / 0.377 = 1.061 \text{ kgf/cm}^2$$

O parafuso não resiste à força de cisalhamento proposta.

Usamos as siglas SAE1030 e SAE8640 quando nos referimos ao aço dos parafusos. O aço SAE1030 é de tensionamento médio e dureza moderada. Já o aço SAE8640 é de temperabilidade fácil e dureza elevada.

Para trabalhar em cisalhamento não devemos empregar parafusos com dureza elevada, mas sim aços com propriedades de ductibilidade relativamente ponderada. Isso facilita os ajustes necessários entre as roscas das porcas e as dos parafusos. Neste ponto devo recomendar muito cuidado com a escolha das porcas. De nada adianta trabalhar com um parafuso de uma dada resistência e uma porca com propriedades mecânicas muito inferiores às das do parafuso. Evidentemente, em casos assim as propriedades mais frágeis tornam-se as propriedades nominais de todo o sistema de fixação.

tabela 10.13

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PARAFUSOS ESTRUTURAIS ASTM A325 E A490								
IDENTIF	ASTM A325				ASTM A490			
	REG	TIPO 1	REG	TIPO 3	REG	TIPO 1	REG	TIPO 3
MATERIAL	aço carbono médio, temperado		aço carbono ao tempo, temperado		liga de aço carbono médio, temperado		aço carbono ao tempo, temperado	
GRAU								
DIÂMETRO	¼ - 1"		¼ - 1"		¼ - 1 ½"		¼ - 1 ½"	
Kgf/cm² MÁX	5.976	5.202	5.976	5.202	8.436	8.436	8.436	8.436
DUREZA ROCK	C25-C19	C25-C19	C25-C19	C25-C19	C33	C33	C33	C33
PORCA COMPATÍVEL								
	GRAU C	GRAU DH	GRAU C3	GRAU DH3	GRAU DH	GRAU DH	GRAU DH3	GRAU DH3

A tabela 10.13 mostra algumas das propriedades mecânicas de tipos diferentes de parafusos estruturais.

Usei os exemplos dos dois parafusos estruturais mais empregados para lembrar a você que parafusos estruturais são os únicos com os quais se deve trabalhar em sistemas profissionais de áudio.

Para fazer os cálculos como fizemos nos exemplos anteriores é preciso conhecer dados como os dessa tabela, que aí estão apenas a título de modelo.

Na prática, você deve recorrer aos dados técnicos dos inúmeros fabricantes de parafusos

que temos no Brasil. Se preferir também pode escolher parafusos fabricados fora do Brasil.

Atenção para a figura 10.122.

Esse é um gráfico que tem o eixo vertical graduado em termos de força e o eixo horizontal graduado em termo de aperto dado ao parafuso.

Note que três áreas estão nitidamente destacadas.

A primeira região, em verde na figura, é a região de deformação elástica. Ou seja, o parafuso se comporta como uma mola ideal. À medida que vai sendo solicitado vai se deformando linearmente. Por ser elástica, essa deformação não é permanente. O que significa que, se desapertarmos o parafuso ele vai recuperando sua forma original. O limite entre a região de deformação elástica e a região amarela, que é a região de deformação elasto-plástica, é conhecido como ponto limite de escoamento (yield point).



figura 10.122 aperto de parafuso versus deformação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na região elasto-plástica a deformação é, inicialmente mais elástica com traços de plástica e, mais para a direita da região, com deformação progressivamente mais e mais plástica. Ou seja, deformação permanente.

Na fronteira entre as regiões de deformação elasto-plástica e plástica, o parafuso já está muito próximo de seu ponto de ruptura, ou colapso.

Os parafusos devem trabalhar apenas em sua região de deformação elástica.

10.6.4.4 Colapso e Fadiga Essas são duas entidades que você precisa conhecer melhor.

Documentos que reportam pesquisas científicas conduzidas em várias partes do mundo mostram que o colapso de cerca de 80% das fixações feitas com parafusos deve-se à fadiga e não a sobrecargas. Pense num simples clipe de papel. Desses que costumamos brincar com as mãos. É bastante fácil quebrá-lo – e por vezes o fazemos – dobrando-o para um lado e depois para o outro e assim sucessivamente. Uma carga que oscila verticalmente produz efeito mecânico que se aproxima bastante do efeito clipe de papel reportado imediatamente acima.

Uma das recomendações que sempre gosto de fazer é para que se dê preferência aos parafusos com cabeças sextavadas, montados corretamente com arruelas lisas e de pressão, além de porcas sextavadas. O aperto deve ser dado com torquímetro. O torque adequado para cada parafuso com seu tamanho, material utilizado em sua fabricação, classificação, normas e padrões aplicáveis e outros, deve estar de acordo com as especificações do fabricante.

A figura 10.123 ilustra um torquímetro digital de baixo custo e muito eficaz na obra.



figura 10.123 torquímetro digital cortesia TorkFort 10.6.4.5 Corrosão Galvânica Outra dessas recomendações diz respeito à corrosão galvânica.

Em outro lugar desse livro discutimos detalhadamente a corrosão galvânica. Ela se deve ao contato entre metais diferentes que estão afastados entre si na tabela da série tribelétrica. Quanto maior é o afastamento, maior é o risco e gravidade do problema. Em condições moderadas de corrosão galvânica, o inconveniente praticamente se resume a questões cosméticas. Outrossim, em situações mais graves pode haver perda significativa de massa, reduzindo a vida útil do componente e, em casos extremos, invalidando os cálculos feitos como nos exemplos anteriores.

Uma das melhores maneiras de evitar a corrosão galvânica é utilizando parafusos, porcas e arruelas do mesmo material e com o mesmo acabamento. Outra medida que ajuda muito é protegendo parafuso, porcas e arruelas da ação do meio ambiente, principalmente se ele é muito agressivo ou quando apresenta comportamento de eletrólito. Para que você não tenha que localizar essa discussão em outro ponto deste trabalho, apresento na tabela 10.14 um resumo da série tribelétrica.

tabela 10.14

	grafite
	titânio
	aço inox passivo
	liga de bronze, níquel e alumínio
	cuproníquel
	bronze
	latão
	estanho
	chumbo
	ferro fundido austenítico
	aço inox ativo
	ferro fundido
	aço estrutural
	liga de alumínio
	zinco
	magnésio

10.6.4.6 Fator de Segurança (FS) Eis uma questão controversa. Se você procurar vai encontrar tabelas sugerindo fatores de segurança muito variados para as mesmas aplicações. São critérios diferentes baseados em testes, experiências, estudos e normas. Na maioria das vezes o FS para parafusos será sugerido entre 2,5 e 5,0 vezes. Esqueça isso. Use fator de segurança

mínimo de 10 vezes, preferivelmente 12 vezes.

Quando digo isso em meus cursos e palestras muitos me perguntam: mas é não é um tanto ou quanto exagerado? Resposta: negativo. Não é não. Vamos começar recordando que estamos falando de preservar vidas humanas. Para começo de papo.

Mas há muitos outros fatores intervenientes. Como as tolerâncias dimensionais dos parafusos e as tolerâncias das especificações técnicas. Eventuais problemas nas fixações também devem ser considerados. O afrouxamento natural é uma das ocorrências clássicas com quaisquer parafusos. Corrosão galvânica e corrosões ambientais não podem ser descartadas. Cargas estáticas com características dinâmicas e com oscilações também são fatores que deveriam preocupar. E, acredite, há muitos outros. Então, deixe a economia para outros itens, não com os parafusos e nem com seus pertences.

10.6.5 Chumbadores, Parabolts e Buchas 10.6.5.1 Parabolts

Chumbador é o nome genérico dado a uma série de dispositivos desenhados e fabricados para possibilitar a ancoragem do que for desejado.

Os parabolts são desenhados para uso no concreto e em rochas de dureza elevada. Há vários modelos de parabolts, todos eles com nomes específicos, como na figura 10.124.



figura 10.124 parabolts e seus tipos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Todos esses nomes têm significados, como ARS – Rosca Externa, AF - Com Parafuso Cônico, PBA– Passante com Rosca Externa, OM – Chumbador com Parafuso, CBN – com Parafuso CBA de Nylon, etc.

Os chumbadores costumam ser divididos em grupos. O primeiro grupo é o de pré ancoragem. Sua característica é que eles são posicionados antes da concretagem e só podem ser submetidos a esforços mecânicos após a cura total do concreto. O segundo grupo é de pós concretagem. Estes são elementos aplicados ao concreto já curado ou em outros substratos como rochas, alvenaria, etc.

Este segundo grupo pode ser dividido em dois subgrupos, que são os chumbadores mecânicos e os chumbadores químicos. Os chumbadores mecânicos atuam por forças mecânicas, usualmente a expansão da jaqueta externa. Os chumbadores químicos são fixados ao substrato através do endurecimento de resinas sintéticas.

Portanto, os chumbadores mecânicos sofrem deformação por encunhamento, o que acaba comprimindo as paredes internas dos furos. Essa ação também é conhecida como fixação por atrito.

Já os chumbadores químicos têm sua fixação obtida por adesão de compostos químicos que unem a barra central do chumbador às paredes internas dos furos.

Há outras formas de fixação, como por acomodação, a por interferência e outras, que fogem ao escopo deste trabalho.

A escolha do chumbador adequado pressupõe o conhecimento prévio de algumas condições de uso, a saber: 1 – carga de trabalho, 2 – tipo de instalação, 3 – material do substrato, 4 – ambiente no qual o chumbador vai trabalhar, 5 – Fator de Segurança (não use nada inferior a 10, por favor), 6 – acabamento necessário ou desejado e 7 – presença de agentes corrosivos no local da aplicação dos chumbadores.

Permita-me voltar ao Fator de Segurança. Alguns especialistas julgam que Fator de Segurança 10 é um pouco forçado. Discordo deles e espero que você também. A propósito, em casos onde há vibrações em dois ou mais sentidos recomendo aumentar o Fator de Segurança para 15. Não gosto de ficar repetindo coisas, mas é importante que você tenha em mente que em casos de sistemas profissionais de áudio a segurança deve vir antes de tudo. Além do mais, reduzir o Fator de Segurança não vai levar a grandes economias.

Como no caso dos parafusos, as forças mais comuns às quais serão submetidos os chumbadores são a tração e o cisalhamento.

Outrossim, na maioria das vezes essas duas forças aparecem combinadas.

Quando a carga é vertical e fica ligeiramente afastada da superfície na qual o chumbador foi fixado, pode ocorrer uma certa força fletora que tenderá a entortar o eixo do chumbador para baixo.

Nem sempre se leva em consideração a capacidade de reação do substrato. Isto é, podemos ter uma parede de concreto muito resistente ou um reboco praticamente sem qualquer resistência mecânica.

Paredes de alvenaria são usualmente construídas com tijolos, os quais são assentados em fileiras e espaçamentos são preenchidos com argamassas. Caso se tenha que fixar um chumbador a qualquer tipo de argamassa é fundamental testar a resistência desse composto.

Outro problema muito comum que ocorre com os chumbadores é a corrosão.

Por isso e, levando em conta a importância de manter os padrões de segurança nos níveis mais elevados que seja possível trabalhar, em trabalho de sistema profissionais de áudio é fundamental escolher chumbadores protegidos contra a corrosão. Sim porque ela acaba reduzindo a capacidade de carga dos chumbadores já que enfraquece o material e reduz o

diâmetro nominal do componente.

O tratamento mais comum dado aos chumbadores é a galvanização eletrolítica, ou zincagem.

Essa é a proteção padrão.

Para proteção superior é recomendável utilizar chumbadores projetados para trabalhar em condições muito adversas, produtos esses que podem receber tratamentos diferenciados como bicromatização, zinco-niquelação, tratamento com composto zinco-ferro, tratamento com organo-metálicos e, minha preferida, a galvanização a fogo.

Outra boa opção é pelos chumbadores de aço inoxidável, produtos que devem seguir as normas ABNT 304 e ABNT 316.

A tabela 10.15 mostra as cargas médias de arrancamento de chumbadores tipo CBA de alguns fabricantes.

tabela 10.15

Ørosca polegadas	Øexterno mm	comp parafuso mm	carga arrancamento kgf
1/4	10	50	1.071
5/16	13	55	2.177
3/8	14	60	2.892
1/2	19	75	4.427
5/8	22	85	5.248
3/4	25	100	7.425
1	32	150	11.240

No caso dos chumbadores fixados por expansão é sempre conveniente usar o torquímetro para dar o aperto final. Até porque o torque correto pode eliminar folgas entre o fixador e o substrato, já que insuficiência de torque costuma produzir falta de expansão. Por outro lado, excesso de torque pode comprometer a estrutura do chumbador com tendências de craquelar o substrato.

Durante a furação no concreto ou outro substrato é fundamental atingir a profundidade de embutimento recomendada pelo fabricante do chumbador. Com efeito, essa profundidade tem influência direta na capacidade de carga máxima obtida em cada ancoragem. Do mesmo modo é indispensável que o concreto ou outro substrato tenha espessura mínima igual a 1,5 vezes a profundidade de embutimento. Se esse mínimo não for observado criam-se as condições para eventuais problemas futuros de fissuração do substrato e/ou redução da capacidade de carga máxima do chumbador.

Uma das causas mais comuns de problemas na fixação dos chumbadores são furos com diâmetros superiores ao que é realmente preciso. Isso acaba reduzindo a qualidade da fixação sem que se perceba o fato. Por essa razão é crucial fazer o furo com a broca certa. O que

significa usar broca com o tamanho especificado pelo fabricante do chumbador e, mais importante, usar ou não impacto em função do material e densidade do substrato.

10.6.5.2 Buchas

O mercado oferece ampla variedade de buchas de poliamida (nylon) e de materiais plásticos, em geral de alta densidade, sem que possamos realmente perceber diferenças. Entretanto, o nylon é superior e, quando for o caso, deve ser preferido. De fato, o material plástico mais usado pelos fabricantes é o polietileno, que não oferece resistência confiável nem durabilidade.

Convém ressaltar que essas buchas, ilustradas na figura 10.125, não podem ser usadas em nenhum elemento de rigging. Elas são citadas aqui porque podem ser utilizadas em outras atividades de instalações.



figura 10.125 buchas expansivas de nylon acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os demais critérios de escolha e de montagem seguem as regras até aqui discutidas. Contudo, é preciso frisar que as cargas de arranchamento das buchas de nylon são muitas vezes inferiores às dos chumbadores tipo parabolt, discutidos acima.

10.6.5.3 Buchas Químicas As buchas químicas fixam uma haste metálica roscada ou não ao substrato de concreto ou outro através de uma união química, estrutura, obtida com resina sintética, usualmente formulada com dois componentes. As melhores são tixotrópicas (não escorrem) e são desprovidas de estireno e de solventes. O que torna o produto inodoro.

Uma das propriedades das buchas químicas é que elas funcionam bem em substratos maciços como o concreto, assim como em substrato ocos, a exemplo de ladrilhos e blocos ocos. Inclusive os de consistência irregular. Inclusive, a aplicação pode ser feita em furos secos, úmidos e mesmo molhados.

Mas a grande vantagem desse dispositivo é que ele é impermeável à água. Portanto, altamente recomendado para uso externo já que impede a penetração de água e líquidos. Na maioria das vezes as buchas químicas também são resistentes a produtos químicos orgânicos, alcaloides e ácidos.

Tipicamente as buchas químicas apresentam extraordinárias capacidades de resistência em comparação com as demais buchas e mesmo chumbadores. Como revela a tabela 10.16.

tabela 10.16

RESISTÊNCIAS BUCHA QUÍMICA			
prisioneiro polegadas	material	tração kgf	corte kgf
5/16	aço 5.8	1.835	917
	aço 8.8	2.966	1.529
	inox	2.650	1.325
3/8	aço 5.8	2.956	1.529
	aço 8.8	4.689	2.345
	inox	4.179	2.039
1/2	aço 5.8	4.281	2.141
	aço 8.8	6.830	3.466
	inox	6.014	3.058
5/8	aço 5.8	7.951	3.976
	aço 8.8	12.742	6.422
	inox	11.213	5.607
3/4	aço 5.8	12.436	6.218
	aço 8.8	19.980	9.990
	inox	17.533	8.767
1	aço 5.8	17.941	8.970
	aço 8.8	28.746	14.373
	inox	25.178	12.640

10.6.6 Cabos de Aço e Acessórios O cabo de aço é uma corda flexível construída com fios de aço ou de aço inoxidável. Veja na figura 10.126 uma das construções possíveis de cabo de aço.

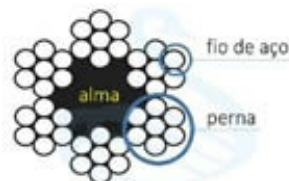


figura 10.126 uma das muitas construções possíveis de cabos de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.127 mostra algumas das construções mais comuns quando se lida com cabos de aço.

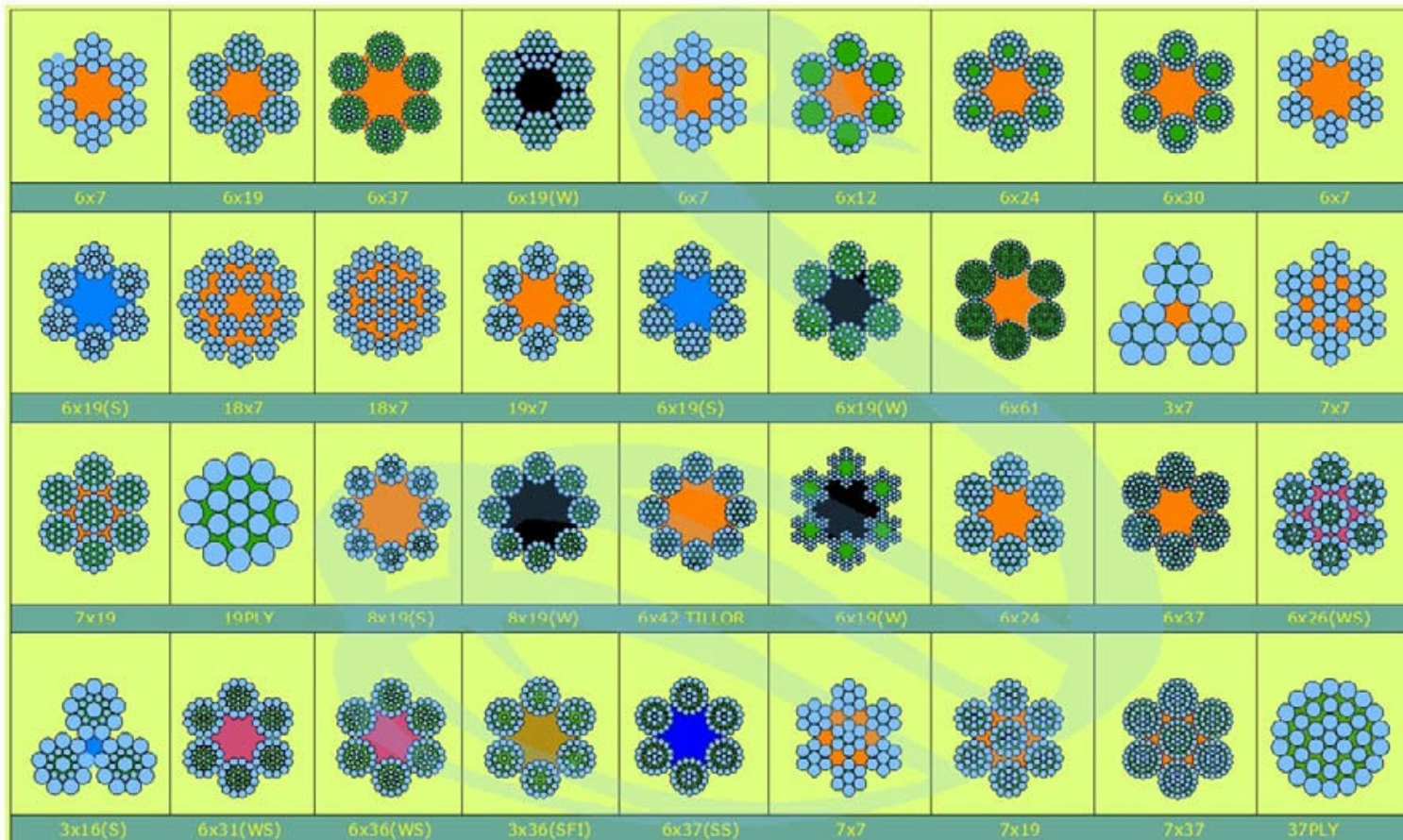


figura 10.127 construções mais comuns de cabos de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É costume especificar os cabos de aço consoante seguinte notação:

PfA ou Pf(A)

onde

• P é a quantidade de pernas • f é a quantidade de fios por perna e • A é o tipo de alma

As almas mais triviais dos cabos de aço são feitas com fibras naturais, como o sisal, com fibras sintéticas como o polipropileno e, ainda, com fios de aço.

As almas de fibra são empregadas quando se quer cabos flexíveis. As almas de aço conferem grande resistência ao cabo, especialmente à tração, mas também produzem cabos menos susceptíveis ao amassamento.

Veja na tabela 10.17 as cargas de ruptura típicas de alguns cabos de aço.

tabela 10.17

BITOLA		TABELA DE PESO				TABELA ISP				TABELA EIPS			
diâmetros		peso (kg/metro linear)				resistência de ruptura (kgf)				carga de ruptura (kgf)			
POL	mm	6x7		6x25 e 6x41		6x7		6x25 e 6x41		6x7		6x25 e 6x41	
		AF/ AFA	AA/ AACI	AF/ AFA	AA/ AACI	AF/ AFA	AA/ AACI	AF/ AFA	AA/ AACI	AF/ AFA	AA/ AACI	AF/ AFA	AA/ AACI
1/16	1,59	0,012	0,013			151	163			167	181		
5/64	1,99	0,014	0,015			236	255			261	283		
3/32	2,38	0,019	0,021			340	367			376	407		
1/8	3,18	0,034	0,037			604	653			669	723		
5/32	3,97	0,054	0,061			944	1.021			1.045	1.130		
3/16	4,76	0,078	0,086	0,088	0,097	1.359	1.469	1.351	1.457	1.505	1.627	1.496	1.613
1/4	6,35	0,140	0,154	0,156	0,172	2.416	2.613	2.402	2.591	2.676	2.893	2.659	2.869
5/16	7,94	0,221	0,244	0,244	0,268	3.778	4.085	3.755	4.051	4.183	4.523	4.158	4.486
3/8	9,53	0,310	0,341	0,350	0,390	5.442	5.885	5.409	5.836	6.026	6.517	5.990	6.462
7/16	11,10	0,430	0,473	0,480	0,520	7.388	7.980	7.339	7.917	8.176	8.840	8.126	8.767
1/2	12,70	0,570	0,627	0,630	0,680	9.665	10.451	9.607	10.364	10.702	11.573	10.638	11.476
9/16	14,30	0,710	0,781	0,790	0,880	12.254	13.250	12.180	13.139	13.569	14.672	13.487	14.550
5/8	15,90	0,880	0,968	0,980	1,070	15.149	16.381	15.058	16.244	16.775	18.139	16.674	17.988
3/4	19,10	1,250	1,380	1,410	1,550	21.860	23.638	21.729	23.441	24.207	26.176	24.061	25.957
7/8	22,20	1,710	1,880	1,920	2,110	29.532	31.934	29.354	31.667	32.702	35.362	32.505	35.066
1	25,40	2,230	2,450	2,500	2,750	38.660	41.804	38.427	41.454	42.810	43.291	42.552	45.904
1 1/8	28,60			3,170	3,480			48.719	52.557			53.949	58.199
1 1/4	31,80			3,910	4,300			60.231	54.977			66.697	71.951
1 3/8	34,90			4,730	5,210			72.547	78.262			80.334	86.664
1 1/2	38,00			5,630	6,190			86.007	92.781			95.239	102.743

Para usar essa tabela é conveniente saber como medir o diâmetro do cabo de aço. E o que informa a figura 10.128.

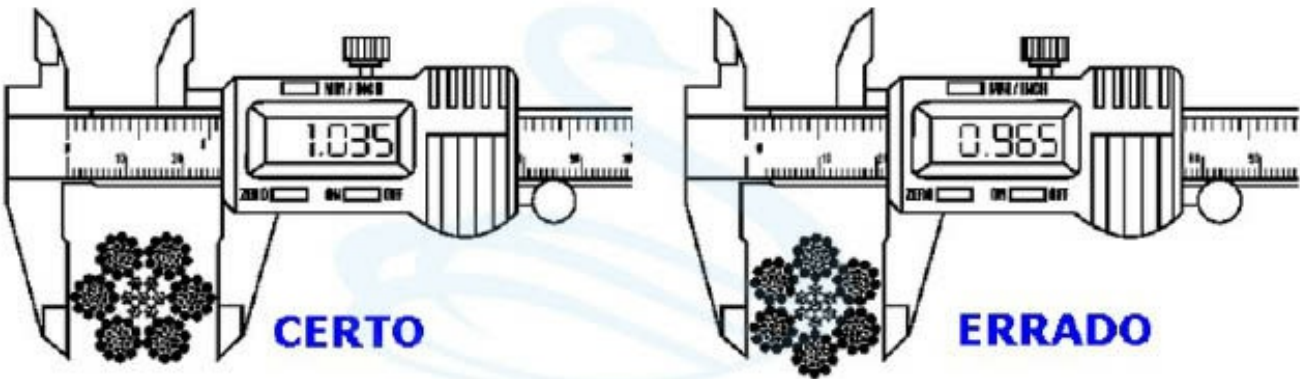


figura 10.128 maneiras certa e errada de medir diâmetro nominal de cabo de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os fios de aço empregados na fabricação dos cabos de aço são classificados

conforme sua resistência à tração, de acordo com o seguinte critério: PS (Plow Steel) – resistência entre 160 e 180 kg/mm² (usado quando se quer obter cabos com alta flexibilidade) IPS (Improved Plow Steel) – resistência entre 180 e 200 kg/mm² (apropriado para cabos que serão submetidos simultaneamente à tração, à abrasão e à torção) EIPS (Extra Improved Plow Steel) – resistência entre 200 e 230 kg/mm² (próprios para cabos com alta rigidez mecânica) 10.6.6.1 Recomendações Gerais 1)

A construção do cabo de aço a ser escolhida depende da aplicação específica. Para instalações permanentes em sistemas de áudio profissional recomendo as construções 6x24 e 6x42 com alma de aço 2) Proponho o uso de Fator de Segurança (FS) mínimo de 10, sendo a figura ideal FS = 12. Sei que esse número supera muito o que é indicado na maioria das tabelas publicadas. Mas preciso lhes dizer.

No planeta terra não há nada perfeito. Ademais, cabos de aço e suas especificações estão sujeitos a tolerâncias. Bem como a variações naturais impostas por temperaturas elevadas. Claro que a ação do tempo produz seus efeitos em tudo o que se possa imaginar.

Permita-me fazer um exercício exemplificativo.

Queremos levantar 1.200 kg. Que cabo devo usar? Calcule a carga mínima de ruptura.

$CMR = 1.200 \text{ kgf} \times 10 \text{ (FS)} = 12.000 \text{ kgf}$ Olhando para a tabela 10.17 escolhemos o cabo de aço com diâmetro de 9/16 polegadas, com alma AA ou AACI. Mas também poderia ser o 6x25 ou o 6x41 com as mesmas almas, além de outros. Entretanto, nosso exercício não levou em conta o peso do próprio hardware, como cabos, conectores, etc. O que deve ser feito nos casos reais.

3) Melhor do que usar um só cabo é dividir a carga total entre dois ou mais cabos. Isso aumenta muito a segurança do conjunto. Contudo, nesse caso, idealmente cada um dos cabos vai suportar a mesma carga.

4) Para temperaturas elevadas, tipicamente acima de 75°, escolha almas de aço AA com uma só perna ou, preferencialmente, a AACI, que é a alma de aço independente.

5) Ao substituir o cabo de aço não reduza o diâmetro nem a carga mínima de ruptura. Conserve todos os aspectos construtivos.

6) É mandatório fazer inspeções periódicas nos cabos de aço, a fim de avaliar o seu estado de conservação. Procure defeitos visuais perceptíveis como nós e dobras, efeitos de amassamento, aumento do passo (redução do diâmetro nominal do cabo), pernas fora de posição, almas expostas, efeito gaiola de passarinho e outros tantos, além de corrosão.

Essa tarefa só pode ser confiada a profissional habilitado e credenciado para a função. Ele deve estabelecer os períodos de inspeção e verificar todos os cabos por inteiro. Não é aceitável que a inspeção seja feita por amostragem.

A figura 10.129 mostra alguns dos defeitos mais comuns que ocorrem com os cabos de aço.

Em 10.129.1 a quebra de fios por efeitos de repetidas dobras feitas no cabo. 10.129.2 exhibe claramente o assim chamado efeito gaiola de passarinho, resultado usual do uso irregular do cabo. Em 10.129.3 o desgaste lateral do cabo. Em 10.129.4 fadiga do cabo com vários fios seccionados. Na figura 10.129.5 a fadiga produzida por rotação indevida do cabo. 10.129.6 expõe o típico defeito provocado por movimento de giro imposto ao cabo. 10.129.7 mostra a

desorganização física do arranjo construtivo do cabo. 10.129.8 sugere a perna movida de sua posição original. 10.129.9 evidencia o desgaste linear das pernas e, finalmente, 10.129.10 deixa transparecer o amassamento do cabo de aço.



figura 10.129 defeitos mais comuns que se contata nos cabos de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Com relação à redução do diâmetro nominal dos cabos de aço, os valores da tabela 10.18 podem ser considerados aceitáveis.

tabela 10.18

diâmetro	redução
até 5/16"	0,4 mm
5/16" – 1/2"	0,8 mm
1/2" – 3/4"	1,2 mm
3/4" – 1 1/8"	1,6 mm
1 1/8" – 1 1/2"	2,4 mm

10.6.6.2 Acessórios

Como os acessórios dos cabos de aço são os elementos que possibilitam fazer suas terminações, penso que é um bom caminho analisar algumas das configurações possíveis que podem ser dadas aos segmentos dos cabos, mesmo antes de entrar nos detalhes específicos dos acessórios. Atenção para a figura 10.130. Ela revela algumas das possíveis terminações que podem ser dadas aos cabos de aço.



figura 10.130 terminações dadas aos cabos de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Por favor, dedique alguns poucos minutos estudando todas essas configurações, já pensando em que alternativas poderiam ser utilizadas em casos mais simples de suportes elevados de caixas acústicas.

10.6.6.3 Grampos

A figura 10.131 mostra um grampo da variedade mais comum utilizado em algumas fixações e terminações dos cabos de aço.



figura 10.131 grampo de cabo de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os grampos podem ser de aço forjado ou de aço inoxidável, ambos disponíveis nas variedades leve e pesado. Pessoalmente dou preferência ao aço inoxidável do tipo pesado. Há grampos com tamanhos próprios para todos os diâmetros de cabos de aço fabricados.

O uso dos grampos é regulado pela norma NBR 11099. Oriente-se pela figura 10.132.



figura 10.132 usos certo e errados dos grampos de cabo de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Na montagem correta as bases dos três grampos devem ser posicionadas na parte viva do cabo porquanto as curvas “U” internas ficam na parte morta do cabo.

O primeiro grampo a ser montado deve ser fixado bem próximo do ponto de encontro das partes viva e morte do cabo. No caso da figura 10.132, no lado direito.

O segundo grampo a ser montado é o da esquerda na figura. Ele deve ficar próximo da extremidade da parte morta do cabo e a distância entre ele e o grampo já montado é de aproximadamente 12 vezes o diâmetro do cabo.

Por fim é montado o grampo central, com distância igual para os outros dois grampos. Que é de aproximadamente 6 vezes o diâmetro do cabo.

10.6.6.4 Manilhas



figura 10.133 principais tipos de manilhas usadas em correntes e em cabos de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.133 dá uma ideia geral das manilhas.

Veja que há dois tipos principais de manilhas. As feitas para uso com correntes, cujo formato lembra o da letra “U” e as feitas para uso com cabos de aço, com formato similar ao da letra grega ômega.

Os dois modelos são fabricados com pinos roscados, com parafusos e porcas, geralmente com a segurança de cupilhas de aço e, finalmente, com pinos redondos e cupilhas. No caso dos pinos roscados, os pinos só são roscados em sua parte final e os furos existentes no corpo da manilha onde terminam os pinos também são roscados internamente.

Interessante notar que pinos roscados, parafusos, porcas e cupilhas e pinos redondos e cupilhas, todos são removíveis.

O que significa que as manilhas podem ser abertas para fazer a conexão mecânica com as cargas ou com os elementos de elevação. E assim, possibilitar o uso de suportes como o da figura 10.134, que mostra uma peça específica para elevação de pilhas line array. No caso, o produto AW 502 da Work Pro Lifters.



figura 10.134 suporte especial da Work Pro Lifters, modelo AW 502

cortesia Work Pro Lifters Ainda assim, a manilha com parafuso, porca e cupilha é o tipo mais recomendado para casos de instalação permanente ou para casos em que serão muito raras as ocasiões de desmanchar e/ou refazer o içamento.

O uso mais comum da manilha é na conexão mecânica entre o cabo de aço e o gancho da carga. Como na figura 10.135. Entretanto, essa não é a única maneira de aplicar as manilhas.



figura 10.135 conexão mecânica entre cabo de aço e gancho da carga acervo do engº Luiz Fernando O.

Cysne O formato físico da manilha é fator determinante de quantos cabos ela pode suportar simultaneamente. Esses cabos são atrelados ao corpo da manilha e o gancho da carga é atrelado ao pino da manilha.

Como na figura 10.135 que, por acaso, mostra a situação de um só cabo.

De modo geral as manilhas são acessórios muito utilizados em elevações temporárias de cargas.

Como vimos, as exceções ficam por conta das manilhas que usam parafusos, porcas e cupilhas.

Pessoalmente não recomendo as manilhas com pinos redondos e cupilhas para uso em sistemas de áudio profissional, tanto os permanentes quanto os temporários.

A resistência mecânica de qualquer manilha é função da liga metálica utilizada em sua manufatura, do processo de têmpera e dos tamanhos.

A tabela 10.19 mostra as resistências mecânicas das manilhas. Números esses baseados na condição do peso ser exercido em sentido transversal ao do pino ou parafuso da manilha.

tabela 10.19

LIMITES DE FORÇAS DE TRABALHO DE MANILHAS, EM Kgf COM FATOR DE SEGURANÇA=5				
tamanho (pol)	largura interna do pino (pol)	diâmetro do pino (pol)	limite de trabalho, kgf com FS=5	
			aço carbono	ligas de aço
3/16	0,38	0,25	303,1	-
1/4	0,47	0,31	454,5	-
5/16	0,53	0,38	681,8	-
3/8	0,66	0,44	909,1	1.818,2
7/16	0,75	0,50	1.363,6	2.363,6
1/2	0,81	0,63	1.818,2	3.000,0
5/8	1,06	0,75	2.954,5	4.545,4
3/4	1,25	0,88	4.318,2	6.363,6
7/8	1,44	1,00	5.909,1	8.636,4
1	1,69	1,13	7.727,3	11.363,6
1 1/8	1,81	1,25	8.636,4	13.636,4
1 1/4	2,03	1,38	10.909,1	16.363,4
1 3/8	2,25	1,50	12.272,7	19.091,0
1 1/2	2,38	1,63	15.454,5	27.272,7

Para outros ângulos aplicam-se os redutores da tabela 10.20.

tabela 10.20



ângulo	reduzidor
20°	15%
30°	25%
45°	30%
55°	40%
70°	45%
90°	50%

10.6.6.5 Ganchos

Os ganchos são uma das principais maneiras de acoplar mecanicamente elementos de içamento. Daí, há uma grande variedade desses componentes. Parte deles pode ser vista na figura 10.136. Na linha superior estão os tipos de ganchos. 10.136.A espelha o tipo olhal convencional. 10.136.B mostra o apreciado gênero correção. 10.136.C mostra o chamado gancho encurtador. 10.136.D deixa evidente o formato inusitado do gancho de fundição tradicional. 10.136.E desvela um gancho encurtador especial. Em 10.136.F está o gancho com trava convencional e, finalmente, 10.136.G expõe a enorme segurança representada pelo

gancho provido de trava automática.

A linha de baixo da figura 10.136 destaca as terminações dos ganchos. 10.136.1 mostra um gancho com olhal tradicional. 10.136.2 nos traz a figura do muito útil gancho giratório. 10.136.3 é a figura de um gancho equipado com haste. 10.136.4 realça um dos mais conhecidos e utilizados ganchos, que é o modelo clévis. 10.136.5 enfoca um gancho especial, dotado de parafuso e 10.136.6 salienta um gancho com parafuso e dispositivo giratório de aplicação especial.



figura 10.136 variedade de tipos e formatos de grampos disponíveis no mercado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura sugere que os ganchos são, provavelmente, os acessórios fabricados em mais variedade de tipos, modelos, graus de resistência, formatos, tamanhos, aplicações, etc. Todos tendo em comum a característica marcante dos ganchos.

Pessoalmente dou preferência aos ganchos com trava, pois entendo que eles são mais seguros que os demais. Recomendo essa opção, que é um pouco mais cara que a média dos ganchos.

O gancho olhal é – de longe – o mais utilizado de todos os ganchos. É também o mais fácil de ser manejado. Praticamente todos os demais ganchos são reservados para aplicações específicas de içamento.

O gancho correção é muito empregado em conjunto com lingas (pouco adiante falamos das lingas) formando laços, como na figura 10.137.



figura 10.137 laços de cabo de aço e o uso do gancho correção no detalhe ampliado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os ganchos encurtadores são projetados para uso com correntes, já que são capazes de prender e fixar com muita eficiência um elo de corrente de tamanho apropriado. O gancho de fundição tem formato característico. Seu acesso dilatado o credencia a ser utilizado numa ampla variedade de aplicações.

O gancho encurtador, de feitio alongado, é empregado para içar/suportar cargas com corpos planos e de espessura reduzida, como chapas, perfilados e, em determinadas condições, peças cilíndricas e tubulares.

Do ponto de vista de formas de acoplamento, os ganchos giratórios possibilitam que as

cargas rotacionem sem produzir danos nas lingas, nem em correntes ou cabos e demais acessórios utilizados. Contudo, essa não é a intenção primária dos ganchos giratórios, que é a de possibilitar o correto posicionamento de cargas “difíceis”.

Os ganchos são tipicamente fabricados em ligas de aço por processos de forja. O tamanho do gancho está relacionado com sua resistência mecânica, como sugere a tabela 10.21.

tabela 10.21

RESISTÊNCIA DE GANCHOS OLHAL CONVENCIONAIS		
ABERTURA DA GARGANTA (mm)	LIMITE DE CARGA (kgf)	
	AÇO CARBONO	LIGA ESPECIAL DE AÇO
22,35	681	909
24,63	909	1.363
25,40	1.363	1.818
28,45	1.818	2.727
34,54	2.727	4.545
38,10	4.545	6.363
44,45	6.818	10.000
48,51	9.090	13.637
69,85	13.637	20.000

Entendo que é fundamental colocar que os ganchos são, com muitas chances, os componentes de toda a longa série dos que são empregados em içamento, os mais frágeis e mais sujeitos a produzir problemas. Exatamente por essa simples razão recomendo que o Fator de Segurança (FS) atribuído a esse componente seja 50% acima dos demais itens.

A carga pode ser suportada por gancho próprio como na figura 10.138. No caso de utilização de duas lingas, o ângulo máximo entre elas que deve ser respeitado é 90°. Se for preciso ou recomendado usar três ou mais lingas, é sempre aconselhável usar anelões ou lingas múltiplas já providas de anelões.



figura 10.138 carga suportada por seu próprio gancho acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 10.6.6.6 Anelão

A figura 10.139 mostra os três tipos de anelões de uso mais comum.



figura 10.139 os três tipos mais usados de anelões acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A função dos anelões é juntar duas ou mais lingas para que elas possam ser içadas de uma só vez e por um só cabo.

A resistência à tração dos anelões está sempre baseada na condição de cargas verticais. A tabela 10.22 é um resumo dessas resistências para os três tipos de anelões.

tabela 10.22

RESISTÊNCIA DOS TRÊS TIPOS DE ANELÕES				
TAMANHO NOMINAL (mm)	LIMITE DE CARGA (kgf)			
	OBLONGO	ANEL	FORMA DE PERA	
	LIGA DE AÇO	AÇO CARBONO	LIGA DE AÇO	AÇO CARBONO
12,70	3.175,00	-	3.175,00	1.315,42
15,87	4.082,33	-	4.82,33	1.814,37
19,05	5.579,19	-	5.579,19	2.721,55
22,22	6.802,89	3.265,87	6.802,89	3.764,82
25,40	11.049,51	4.898,80	11.049,51	4.898,80
28,57	-	5.805,98		-
31,75	16.329,33	7.711,07	16.329,33	7.597,67
34,92	-	8.618,26	19.504,47	9.298,64
38,10	24.630,07	-	24.630,07	-
41,27	-	-	28.394,88	-
44,45	38.510,00	-	38.510,00	-
50,80	46.538,58	-	46.538,58	-

10.6.6.7 Lingas



figura 10.140 caixas acústicas suportadas por 1, por 2 e por 4 tirantes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja na figura 10.140.A caixas acústicas sendo içadas por 1 único tirante, porquanto são utilizados 2 tirantes na figura 10.140.B e 4 tirantes na figura 10.140.C.

Evidentemente esses tirantes podem ser montados em campo para os comprimentos desejados. Os ingredientes dessas montagens são os cabos de aço e seus acessórios, como for necessário.

Entretanto, o mercado oferece tirantes já prontos, nesse caso denominados “lingas”. Outros nomes para as lingas são “estropos” e “eslingas”.

A figura 10.141 exibe grande quantidade de lingas.

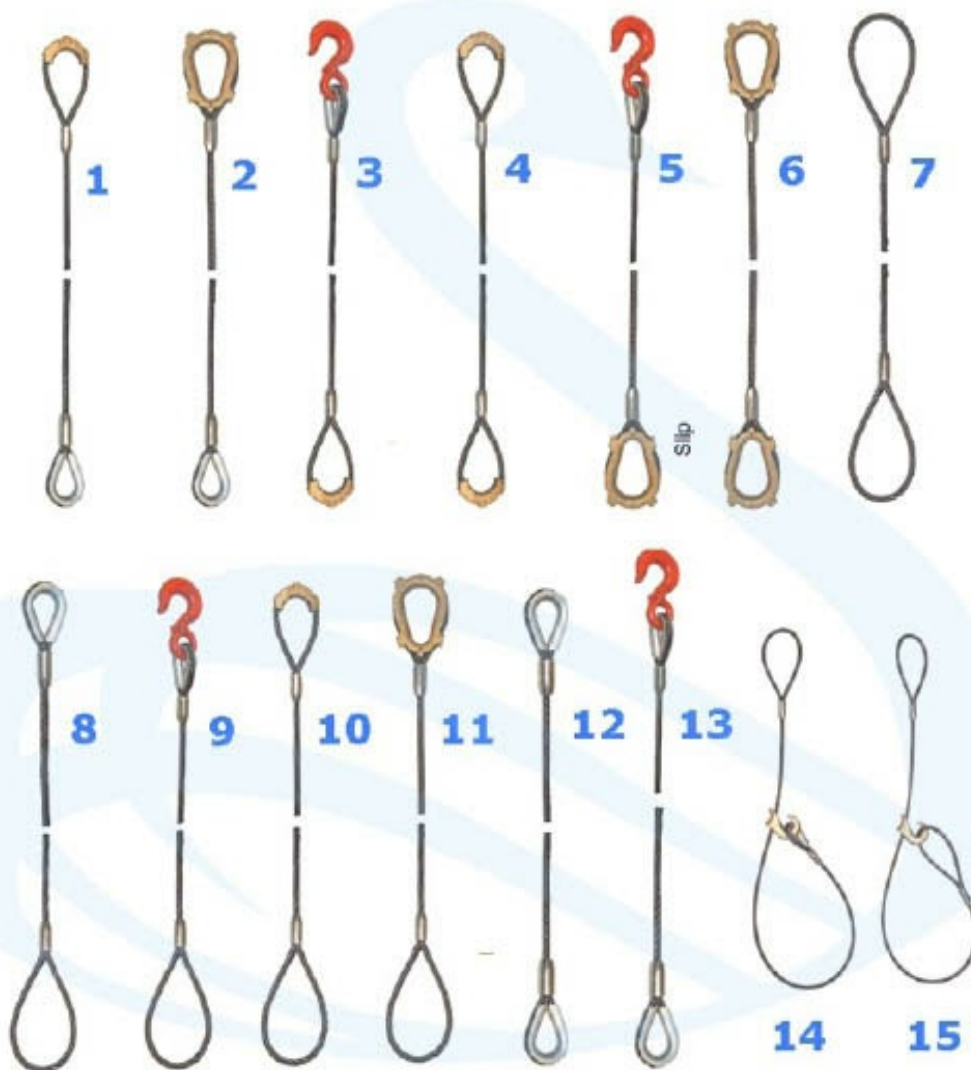


figura 10.141 tipos de terminações mais comuns das lingas oferecidas no mercado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os significados dos números em cor azul na figura 10.132 são: 1 – sapatilha para sapatilha guarnecida 2 – sapatilha para sapatilha com guarnição integral 3 – sapatilha guarnecida para gancho olhal 4 – sapatilha com guarnição integral para sapatilha guarnecida 5 – sapatilha com guarnição integral para gancho olhal 6 – sapatilha com guarnição integral para sapatilha com guarnição integral 7 – laço para laço

8 – olho para sapatilha 9 – laço para gancho olhal 10 – laço para sapatilha guarnecida 11 - laço para sapatilha com guarnição integral 12 – sapatilha guarnecida para sapatilha guarnecida 13 – sapatilha guarnecida para gancho olhal 14 – cesta corrediça laço para sapatilha 15 – cesta corrediça laço para laço Todas essas lingas são oferecidas em grande diversidade de tamanhos. Muitos fabricantes aceitam encomendas com opções

para diferentes cabos, comprimentos das lingas e tipos e tamanhos dos acessórios nas extremidades.

A tabela 10.23 relaciona as resistências à tração de lingas com duas, com três e com quatro pernas, para diferentes combinações de ângulos e diâmetros de cabos de aço e, ainda, configurações desses mesmos cabos. Nesse sentido, as lingas com duas ou mais pernas são também chamadas lingas com estropos múltiplos.

tabela 10.23

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DAS LINGAS, EM TONELADAS											
 Øcabo mm		 capacidade									
			 		 Ømm	 		 Ømm	 		 Ømm
			60°	45°		60°	45°		60°	45°	
6x19 EIP, IWRC	6,35	1	1,1	0,91	12,70	1,7	1,4	12,70	2,2	1,8	12,70
	7,94	1	1,7	1,4		2,6	2,1		3,5	2,8	19,05
	9,52	1,5	2,5	2,0		3,7	3,0		5,0	4,1	
	11,11	2	3,4	2,7	19,05	5,0	4,1	19,05	6,7	5,5	25,40
	12,70	3	4,4	3,6		6,6	5,4		8,8	7,1	
	14,29	4,5	5,5	4,5		8,3	6,8		11	9,0	
	15,88	4,5	6,8	5,5	25,40	10	8,3	31,75	14	11	38,10
	19,05	7	9,7	7,8	31,75	15	12	38,10	19	16	44,45
	22,22	11	13	11		20	16		26	21	50,80
	25,40	11	17	14		26	21		34	28	57,15
	28,58	15	21	17	38,10	31	26	44,45	42	34	69,85
6x37 EIP, IWRC	31,75	15	26	21	44,45	38	31	50,80	51	42	
	34,93	22	31	25		46	38	57,15	-	-	-
	38,10	22	37	30	50,80	55	41	-	-	-	-
	44,45	30	49	40	57,15	-	-	-	-	-	-
	50,80	37	63	52	69,85	-	-	-	-	-	-

Portanto, tenha em mente que o mercado oferece opções de lingas com duas, com três e com quatro pernas.

Também há lingas na forma de elos fechados que podem ser usadas para içamento vertical simples, para içamento correção e como cesta vertical. A tabela 10.24 relaciona valores típicos de resistência à tração para esses três casos com diferentes combinações de diâmetros e configurações de cabos.

tabela 10.24

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DAS LINGAS EM ELO (kgf)				
		resistência à tração		
Øcabo mm				
		vertical	corredico	cesta
7x7x7	3	140	280	100
	4	260	520	200
	5	400	800	300
	6	500	1.000	380
	8	1.100	2.200	820
	9	1.340	2.680	1.000
	10	1.600	3.200	1.200
	11	2.000	4.000	1.500
	12	2.400	4.800	1.800
	13	2.800	5.600	2.100
	14	3.500	7.000	2.600
	16	4.000	8.000	3.000
	18	5.000	10.000	3.750
7x7x19	19	6.000	12.000	4.500
	20	6.600	13.200	4.950
	22	8.000	16.000	6.000
	24	9.200	18.400	6.900
	25	10.000	20.000	7.500
	29	13.000	26.000	9.750
	32	16.000	32.000	12.000
	35	16.400	36.800	13.800
	36	20.800	41.600	15.600
	38	24.000	48.000	18.000
	40	25.400	50.800	19.050
	44	33.400	66.800	25.050
	48	40.000	80.000	30.000
	52	46.000	92.000	34.500

10.6.6.8 Esticadores A figura 10.142 é um verdadeiro desfile de esticadores. Veja que a única diferença entre os diversos tipos de esticadores são as terminações. Cada uma delas adequada para uma dada aplicação. Chamo sua atenção para o fato dessa figura não mostrar todas as terminações existentes, incluindo algumas das mais usadas, a exemplo de manilha para manilha.



figura 10.142 esticadores para cabos de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os esticadores são muito utilizados para ajustar a tensão exercida sobre os tirantes e, também, para ajustar os seus tamanhos físicos. Isso se aplica a tirantes isolados e a pernas de lingas. Essas funções possibilitam que qualquer caixa acústica, cluster e pilhas de elementos line arrays sejam espacialmente reguladas com muita acuidade.

Outro aspecto importante é a resistência à tração dos esticadores. Para um dado material usado na manufatura do esticador, quanto maior é seu diâmetro nominal mais elevada é sua resistência, como mostra a tabela 10.25.

tabela 10.25

ESTICADOR DE AÇO FORJADO MANILHA PARA MANILHA		
		
rosca	Øcabo polegadas	carga máxima (kgf)
M10	3/16	360
M12	1/4	500
M16	5/16	800
M20	3/8	1.200
M22	1/2	1.700
M24	5/8	2.200
M42	1 1/4	5.100
M48	1 1/2	6.900

Há fabricantes que fornecem esticadores com algumas alternativas de comprimento. Claro que quanto maior é a peça mais ampla é a faixa de ajustes.

Recomendo que não se faça economia com qualidade dos esticadores.

Prefira produtos que atendam todas as normas internacionais aplicáveis e que os respectivos fabricantes disponham de certificação de escaneamento eletrônico do material, o que confere segurança de que a constituição física interna dos parafusos, das roscas e dos terminais, além de testes de fadiga e de vida útil do componente.

10.6.6.9 Prensa Cabo Também chamado de anilha, o prensa cabo é como mostra a figura 10.143.



figura 10.143 anilha ou prensa cabo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja que há modelos duplos e simples. A função do prensa cabo é unir dois cabos de mesmo diâmetro, como na figura 10.144.



figura 10.144 anilha unindo dois cabos de aço para formar um laço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Portanto, os prensa cabos podem substituir os grampos para as situações que não precisam ser revertidas, já que as emendas feitas com prensa cabos são permanentes. Os prensa cabos mais comuns são fabricados em alumínio (alumínio alloy) ou em aço inoxidável.

10.6.6.10 Luvas de Emenda Estas são alternativas para os prensa cabos. A função primeira de uma luva de emenda é possibilitar a emenda de duas extremidades de cabos, como na figura



figura 10.145 luvas de emenda para cabos de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As emendas são fabricadas com um tubo interno de aço inoxidável revestido externamente com um segundo tubo, este de alumínio (alumínio alloy).

Como no caso dos prensa cabos, as luvas de emenda são fabricadas em tamanhos próprios para todos os diâmetros comerciais dos cabos de aço.

Tanto as luvas de emenda quanto os prensa cabos devem ser comprimidos com ferramentas especializadas e próprias para cada modelo/tamanho. Num nível bem profissional, válido para prensagem de grandes quantidades em regimes contínuos e prolongados, são utilizadas prensas hidráulicas. Num nível patamar abaixo, o que é geralmente adequado para instalações de sistemas profissionais de áudio, estão os alicates de acionamento manual, oferecidos em grande sortimento de multiplicação de força.

10.6.6.11 Olhais

Considero os olhais os elementos fundamentais do rigging de quaisquer sistemas de áudio que requeiram içamento de caixas acústicas e/ou outros itens. Em casos gerais os olhais são utilizados tanto na parte superior dos elementos de içamento, quanto nas próprias cargas. Esta é a provável razão pela qual estes componentes também são chamados “olhais de suspensão”.

A figura 10.146 exhibe uma coletânea de olhais que, de modo geral, resume os principais tipos de olhais fabricados e utilizados em sistemas profissionais de áudio.



figura 10.146 diversos tipos de olhais para cabos de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 10.146.1 o mais comum e utilizado de todos os olhais: o olhal parafuso de rosca completa com ombro. O olhal parafuso com rosca completa e ombro está na figura 10.146.1. O olhal parafuso com rosca completa e sem ombro está na figura 10.146.2. Na figura 10.146.3 o olhal parafuso com rosca parcial, sem ombro. Na figura 10.146.4 o olhal parafuso também com rosca parcial, mas agora com ombro. Na figura 10.146.5 o olhal rodízio, próprio para correntes metálicas. Em 10.146.6 o olhal porca e, finalmente, em 10.146.7 o olhal porca modelo americano, cujo formato é bem diferente dos olhais porcas regulares.

Além desses olhais há alguns outros, que podem ser pesquisados pelo leitor com interesse nisso.

Uma vez que os olhais estão presentes em grande quantidade de casos de rigging,

recomendo que a escolha desses componentes seja feita consoante critérios muito rígidos, entre os quais estão: 1 – escolha olhais com capacidade de suportar a carga a ser içada 2 – não trabalhe com Fator de Segurança (FS) inferior a um valor mínimo de 10

3 – jamais use tirantes atrelados aos olhais sem ombros que não sejam absolutamente verticais e, para os com ombro, limite ao máximo a inclinação dos tirantes de sorte que estes fiquem com os menores ângulos possíveis com relação à vertical 4 – jamais use qualquer olhal que tenha sido dobrado antes 5 – não use olhais sem ombro 6 – use arruelas de aço inoxidável entre os ombros dos olhais e as superfícies nas quais eles serão fixados 7 – para instalações ao tempo escolha ou os olhais feitos em aço inoxidável forjado e acabados com galvanização a quente, de vez que esse é o que oferece melhores proteções contra a corrosão.

Como você percebeu, parte do processo de escolha é a determinação do material com o qual o olhal é feito, a forma como é feito e seu acabamento.

A tabela 10.26 mostra as resistências à tração de alguns tamanhos de olhais de suspensão.

tabela 10.26

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE OLHAIS DE AÇO	carga máxima (kgf)	
	Vertical	@ 45°
diâmetro nominal (mm)		
25	181	36
31	362	72
38	636	127
44	910	181
50	1.181	236
56	1.363	272
62	1.818	363
75	2.727	545
88	3.000	590
100	3.636	727
112	4.545	909
125	6.818	1.363
150	8.182	1.636
175	10.000	2.000
200	11.820	2.362

A escolha do olhal correto é apenas chegar na metade do caminho em direção ao objetivo. A parte mais importante é fazer as montagens corretamente.

As figuras 10.147, 10.148 e 10.149 mostram maneiras corretas e incorretas de instalar olhais parafuso em chapas de corpos sólidos.

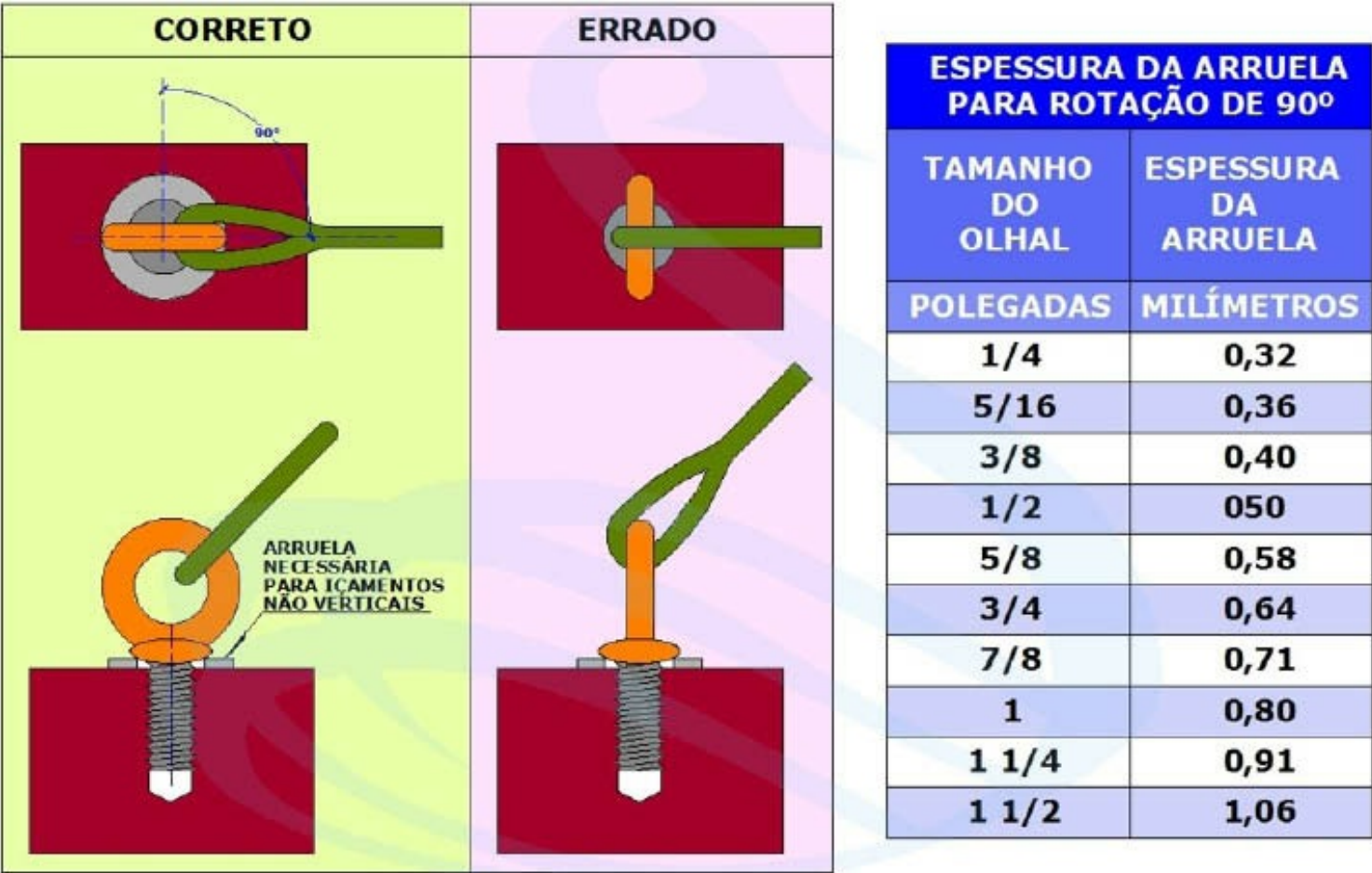


figura 10.147 instalações correta e errada de olhais em chapas metálicas espessas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figura 10.148 instalações correta e errada de olhais em chapas metálicas finas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

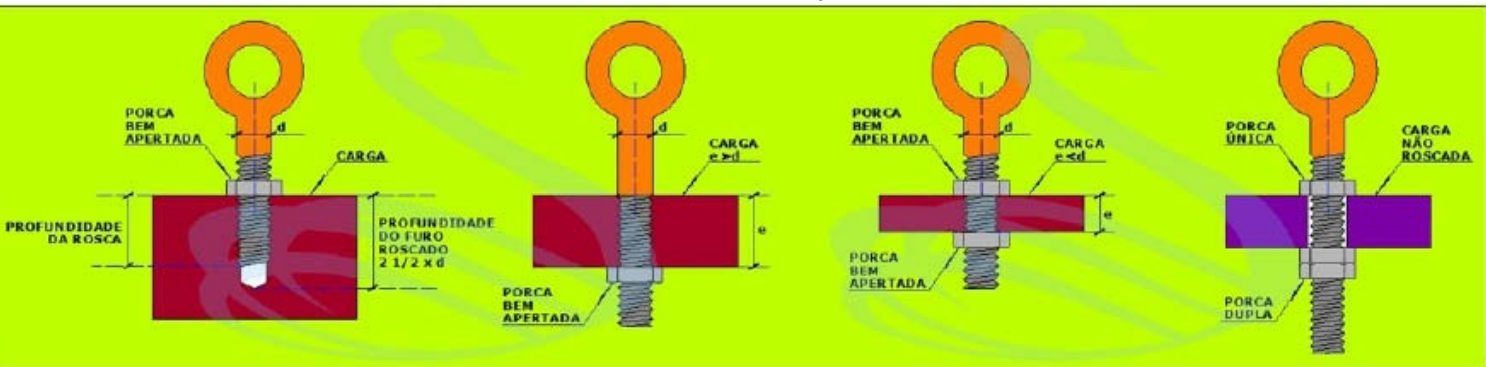


figura 10.149 uso de porcas nas instalações corretas de olhais em chapas metálicas espessas e finas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando não for possível evitar tirantes absolutamente verticais, só se deve usar olhais com ombro. Os números constantes da coluna da direita da tabela 10.26 orientam quanto à resistência à tração. Mas por favor, entenda que todos esses números são figuras orientativas. Apenas isso. Com elas já é possível fazer cálculos preliminares. Mas é preciso considerar que essas resistências variam muito de fabricante para fabricante e de material para material. Por isso é fundamental consultar as figuras específicas do produto escolhido e utilizado, publicadas pelo respectivo fabricante.

10.6.6.12 Sapatilha

Veja algumas sapatilhas na figura 10.150.



figura 10.150 sapatilhas para cabos de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esses componentes servem para conferir o correto tensionamento dos cabos de aço e, ao mesmo tempo, preservar sua integridade física.

As sapatilhas são fabricadas para os diâmetros disponíveis dos cabos de aço. Logo, elas não podem ser usadas com cabos com diâmetro maior nem menor do que aquele para a qual foram projetadas e produzidas. Ou ocorrerão problemas como os ilustrados na figura 10.151.



figura 10.151 problemas de usar sapatilhas com tamanhos não adequados para o diâmetro do cabo de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 10.6.6.13 Soquetes

Podemos definir soquetes de cabos de aço como sendo os componentes projetados para aplicação nas extremidades dos cabos possibilitando que eles sejam tracionados.

A figura 10.152 mostra uma coletânea selecionada de soquetes. O que, por si só já serve para dar uma excelente ideia da variedade e aplicações desses componentes.



figura 10.152 coletânea de soquetes para cabos de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esses componentes são comprimidos com a extremidade do cabo no interior de sua parte tubular oca. Alguns são construídos com tubos metálicos de ductibilidade controlada para que o interior do tubo acabe formando uma espécie de amálgama com as paredes externas do cabo. Outros conectores usam um material que facilita a conformação tubo externo-cabo de aço. Geralmente esses materiais são ligas de zinco ou resinas diversas, além de compostos especiais para aplicações muito específicas.

A figura 10.153 mostra um soquete tipo cunha. No lado esquerdo a instalação é a correta porquanto ao centro e à direita as montagens são incorretas.



figura 10.153 soquete tipo cunha com instalação correta e instalações erradas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 10.6.7 Correntes

A figura 10.154 mostra algumas correntes.



figura 10.154 diferentes tipos de correntes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As correntes são indicadas para instalações que requerem tirantes com as seguintes propriedades: flexibilidade física, elevada resistência mecânica à tração, defesas naturais contra a abrasão e vida útil prolongada.

Creio que esse introito é o bastante para dar uma ideia das propriedades mecânicas das correntes.

Por todas essas razões as correntes são preferencialmente escolhidas sobre quaisquer outras alternativas. Especialmente quando os tirantes ficam sujeitos a danos provocados pela carga e, também, pelas condições ambientais vigentes. Exemplos de possibilidade de ocorrência desses problemas é quando as cargas são muito ásperas ou possuem cantos vivos e pontiagudos, como é o caso dos bumpers e grades dos line arrays, além de temperaturas muito elevadas.

Posso lhes assegurar que as correntes têm capacidade de suportar impactos mecânicos bem superior ao dos cabos de aço. Cerca de três vezes mais.

Mas não é tudo. Um aspecto sempre muito importante é o custo envolvido. Pois bem. Inicialmente as correntes possuem custo intrínseco bem inferior ao dos cabos de aço. Como se pode inferir, fazer rigging com correntes é sempre muito mais fácil e rápido do que é possível fazer com cabos de aço. O que, trocado em miúdos, também significa menor custo já que a mão de obra de obra envolvida é muito menor e o tempo de instalação é reduzido.

Parece que o desfile não quer parar. Agora a questão da vida útil. Está sentado? Se não, por favor, sente. A vida útil dos cabos de aço é de apenas 5% do que é a expectativa de vida útil das correntes. Tudo em termos médios e considerando instalações bem projetadas e bem executadas.

Agora descortina-se o quadro no qual me baseio para recomendar as correntes sobre os cabos de aço. Mas isso é coisa pessoal e não pode ser aplicada a todos os casos

indiscriminadamente.

Entretanto, julgando que ao menos já despertei seu interesse para essa questão, preciso agora aprofundar um pouco mais esse assunto das correntes.

As correntes são fabricadas a partir de barras de aço cilíndricas ou de ligas de aço escolhidas em função da aplicação que lhes é dada. Uma vez terminado o processo mecânico de produção, com a corrente já tendo adquirido sua forma física final, ela é submetida a um ou mais métodos de têmpera. A escolha da temperatura mais elevada do processo e o tempo de resfriamento da corrente determinam seu grau de rigidez mecânica, sua tenacidade, sua resistência à tração, sua capacidade de suportar impactos mecânicos, sua proteção contra a ação do tempo e muitas outras propriedades mecânicas, inclusive a capacidade de resistir à abrasão e à corrosão.

Ao escolher correntes para rigging de sistemas profissionais de áudio só escolha produtos projetados e fabricados para rigging. Porque essas correntes são concebidas e fabricadas para deformar antes de romper. O rompimento é uma fratura do metal, geralmente provocada por repetições seguidas de içamentos e descidas.

As correntes desse tipo têm capacidade para deformar de 15% a 30% antes de fraturar. Contudo, quando a deformação atingir marcas entre 4% e, no limite máximo de 5%, a corrente deve ser retirada de serviço e substituída por outra, nova, com todas as especificações e propriedades da corrente substituída.

O mesmo se aplica se qualquer espessura ou parte do elo da corrente diminuir de 6% a 8%, sendo este último o ponto limite.

Veja essas condições na figura 10.155. No lado esquerdo da figura a corrente é nova, sem uso. No lado direito uma corrente bastante usada, na qual se nota o alongamento dos elos e as reduções dos diâmetros nominais.

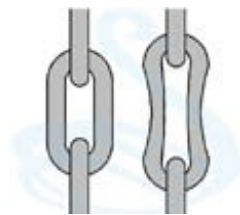


figura 10.155 alongamento dos elos das correntes que ocorre com o uso acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Antes de prosseguir gostaria de mencionar que as lingas que discutimos antes eram todas de cabos de aço. Só para constar, também existem lingas de correntes. É o que mostra a figura 10.156.



figura 10.156 lingas de correntes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A resistência à tração das

correntes é função direta da liga de aço utilizada na manufatura. O que se chama de liga é simplesmente a combinação de dois ou mais metais em proporções bem definidas.

Alguns organismos norte-americanos vêm desenvolvendo pesquisas para chegar a padrões de materiais e de processos de fabricação, incluindo-se a padronização dos métodos de têmpera, de sorte a facilitar a produção e homogeneizar os resultados em termos nacionais.

Outrossim, o ISO (International Organization for Standardization) tem encapada diversas dessas recomendações nacionais transformando-as em normas de abrangência internacional.

Muitas de nossas normas NBR são normas originadas no ISO, com ou sem adaptações para adequação às circunstâncias prevalentes em nosso país.

Por isso, dos muitos tipos de correntes especificados, apenas os graus 80 e 100 são recomendados para serviços de rigging em sistemas profissionais de áudio.

Esses dois graus caracterizam-se pela resistência muito elevada, pela consistência ao longo do tempo o que as torna resistentes ao desgaste e à fadiga, e também pela vida útil muito longa.

Tenho falado aqui em dureza de material.

Deixe-me explicar.

Já mencionei que a dureza que uma liga metálica adquire é principalmente a resultante da temperatura máxima utilizada no processo de têmpera e do tempo que se permite que a liga esfrie após ter sido aquecido até a temperatura mais elevada do processo.

Para as correntes, a dureza é tipicamente aferida numa escala denominada Brinell (HB – Hardness Brinell).

Os números mais comuns variam entre 150, considerado um material maleável, e 750, considerado um material de dureza extrema.

Por exemplo, as correntes empregadas em lingas possuem dureza típica HB da ordem de HB 250, podendo, em casos extraordinários, atingir HB 450.

As correntes graus 80 e 100 devem indicar essas figuras nos próprios elos das correntes, a intervalos máximos de 1,0 metro.

Os caracteres dessa marcação devem estar em alto relevo, tipo americano, e incluir o logotipo ou nome do fabricante.

As correntes grau 80 são identificadas com o número 8 porquanto as de grau 100 são identificadas com o número 10.

Eventualmente com 100 e mais raramente com 1000.

Para um dado grau de corrente, a resistência à tração é relacionada com o tamanho nominal da corrente.

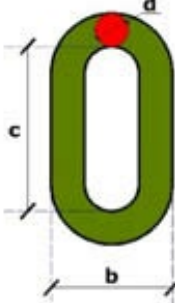
Que, em essência, é o diâmetro do tubo de aço que dá origem à corrente.

A tabela 10.27 mostra alguns tamanhos nominais de correntes, com detalhes dos elos, bem

como respectivas cargas de ruptura e peso por metro.

Esses dados referem-se a correntes do gênero elos curtos, fabricadas com aço carbono convencional, sendo que as cargas de ruptura são informadas sem quaisquer Fatores de Segurança (FS).

tabela 10.27

				
dimensões do elo			carga de ruptura (kg)	kg/m
d (mm)	c (mm)	b (mm)		
3,20	16,0	12,0	400	0,187
4,00	18,5	14,5	600	0,305
4,70	19,0	17,0	800	0,430
5,50	20,0	19,0	1.100	0,604
6,35	22,0	21,0	1.500	0,820
7,94	26,5	27,2	2.400	1,313
9,50	30,0	32,0	3.400	2,000
11,11	34,0	36,0	4.600	2,690
12,70	39,0	43,0	6.000	3,445
15,80	45,0	53,0	9.400	5,480
19,00	55,0	63,0	13.600	7,956
22,20	64,0	74,0	18.500	10,760
25,40	73,0	84,0	24.300	14,270

Embora as correntes próprias para elevação, que são grau 80 e 100, possuam cargas de ruptura superiores às indicadas na tabela 27, é imperativo escolher a corrente para cada aplicação em função das especificações dos fabricantes considerados, aplicando Fator de Segurança mínimo de 10.

É verdade que muitos fabricantes especificam cargas máximas de trabalho levando em consideração um FS (Fator de Segurança) entre 2,5 e 5,0 vezes. Evidentemente, essa informação deve estar claramente estabelecida juntamente com as especificações de resistência mecânica da corrente. Por vezes, ao invés de informar que Fator de Segurança foi considerado, o fabricante informa para cada corrente o “Limite de Carga de Trabalho (máxima)”, que é bem inferior à Carga de Ruptura.

Correntes podem ser usadas em altas temperaturas, onde outras alternativas não são mais possíveis. Contudo, essas altas temperaturas afetam as resistências das correntes como bem consta da tabela 10.28.

tabela 10.28

REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DAS CORRENTES FUNÇÃO DE TEMPERATURA		
temperatura (°C)	grau 80	grau 100
-40	nada	nada
-30	nada	nada
200	nada	nada
260	nada	5%
310	5%	15%
370	10%	20%
420	15%	25%
480	20%	30%
530	25%	35%
acima de 530	não utilizar	

As tabelas 10.29 e 10.30 a seguir mostram as capacidades nominais das correntes graus 80 e 100 para içamentos com lingas de uma, de duas e de quatro pernas, para ângulos de içamento vertical (90°) e de 60°, de 45° e de 30°.

tabela 10.29

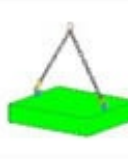
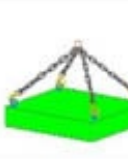
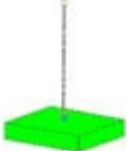
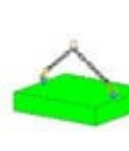
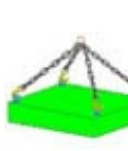
CAPACIDADE NOMINAL DAS CORRENTES GRAU 80							
CORRENTE (pol)							
	90°	60°	45°	30°	60°	45°	30°
7/32	955	1.636	1.364	954	2.426	2.022	1.432
9/32	1.590	2.772	2.226	1.590	4.136	3.364	2.364
3/8	3.226	5.590	4.545	3.226	8.362	6.864	4.818
1/2	5.455	9.454	7.726	5.455	14.182	11.590	8.182
5/8	8.226	14.226	11.636	8.226	21.364	17.454	12.318
3/4	12.864	22.272	18.182	12.684	33.410	27.272	19.272
7/8	15.544	26.610	22.000	15.545	40.410	32.955	23.318
1	21.682	37.544	30.636	21.682	56.318	46.000	32.500
1 1/4	32.864	56.910	46.455	32.864	85.364	69.726	49.272

tabela 10.30

CAPACIDADE NOMINAL DAS CORRENTES GRAU 100

CORRENTE (pol)							
	90°	60°	45°	30°	60°	45°	30°
7/32	1.227	2.136	1.726	1.226	3.180	2.590	1.818
9/32	1.954	3.364	2.772	1.954	5.090	4.136	2.910
3/8	4.000	6.908	5.636	4.000	10.408	8.500	6.000
1/2	6.818	11.818	9.636	6.818	17.727	14.454	10.227
5/8	10.272	17.772	14.545	10.272	26.681	21.772	15.410
3/4	16.046	27.772	22.680	16.046	41.682	34.044	24.090

10.6.8 Cintas de Poliéster O nome genérico “cintas de poliéster” refere-se a um produto tecido a partir de fios formados por fibras sintéticas de poliéster e, eventualmente de nylon, cuja principal característica é a elevada resistência à tração mecânica. De modo geral o poliéster oferece propriedades mecânicas bem superiores ao que é possível com o nylon, razão pela qual as primeiras são a grande maioria.

As cintas sofrem deformações elásticas durante seu uso, principalmente na forma de alongamento físico na direção do comprimento das cintas. Para valores de carga que se aproximam dos limites especificados, as cintas de poliéster sofrem deformações que de cerca de 7% porquanto nas mesmas condições as cintas nylon sofrem deformações de 10%.

A resistência incomum das cintas é obtida graças aos processos de fabricação das fibras e dos fios e, também, ao modo como os tecidos são tramados. Por outro lado, apesar das cintas serem muito maleáveis, elas trabalham distribuindo grandes forças por áreas relativamente grandes, do que resultam pressões bastante controladas. O predica da maleabilidade faz das cintas de poliéster elementos de içamento preferidos para cartas frágeis e com uma certa propensão a danos físicos como chapas de vidro, de espelhos, superfícies polidas e outras tantas com cantos muito vivos.

A forma física das cintas é o de fitas com uma certa espessura, cuja largura é função direta da resistência à tração que se quer obter. Uma vez acabada a cinta de poliéster, com o tecido já tendo adquirido sua conformação final de fita, o material tecido é revestido com uma capa protetora, também bastante resistente ao desgaste, principalmente na forma de atrito e de fricções mecânicas.

A figura 10.157 mostra algumas cintas de poliéster.



figura 10.157 cintas de poliéster acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A resistência mecânica das cintas pode ser aumentada com um artifício bastante simples, que é construí-las com duas ou mais

camadas costuradas entre si.

As cintas de poliéster são fabricadas com larguras mínimas de 1 polegada e máximas de 12 polegadas. Em todos os casos com uma, duas, três ou quatro camadas. Nas cintas multicamadas o esforço mecânico é igualmente distribuído pelas camadas, de sorte que cargas muito elevadas são obtidas com certa facilidade.

Veja a figura 10.158.

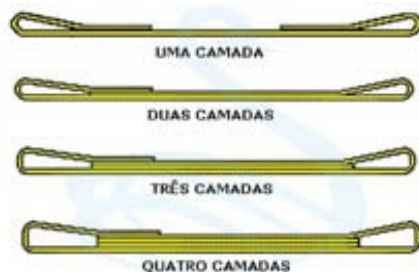


figura 10.158 as camadas das cintas de poliéster acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O desgaste das cintas de poliéster geralmente se mostra nas beiradas. Por isso, os fabricantes produzem das cintas com uma espécie de reforço nas beiradas para prevenir esgarçamentos dos tecidos. Outra forma de ajudar a prevenir o desgaste e aumentar a vida útil das cintas de poliéster é tecer os fios com mais densidade os cantos do que nas partes centrais das cintas.

Qualquer sinal de visível de desgaste da cinta de poliéster é o suficiente para que o produto seja aposentado, retirado de uso e substituído por outro, novo. Esse é um mandamento de segurança que não pode ser negligenciado.

As cintas de poliéster apresentam algumas formas diferentes de desgaste, as quais podem ser avaliadas pelos elementos apresentados na figura 10.159.

Os desgastes provocados por abrasão resultam tipicamente da fricção entre a cinta e uma superfície abrasiva. Outro modo comum de produzir essa forma de desgaste é puxando a cinta por sob a carga.

Os cortes são o resultado do contato direto e movimentos de faca entre a capa da cinta e um canto muito afiado da carga ou de qualquer outro objeto utilizado no içamento. Note na figura que em casos mais severos as costuras aparecem exatamente para sinalizar essa condição. No caso da figura 10.159 a costura é vermelha.

Em algumas cintas a cor é prata brilhante.

A contaminação ácida é decorrência da ação direta de ácidos ou de vapores cáusticos que podem comprometer a integridade dos filamentos das cintas.

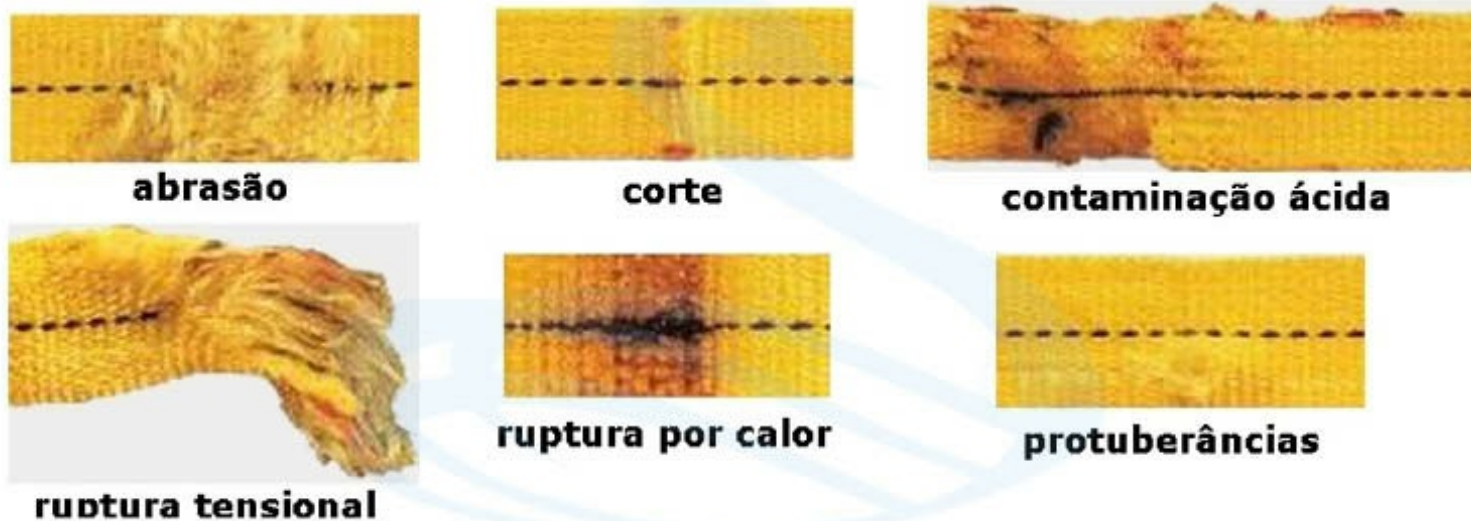


figura 10.159 desgastes das cintas de poliéster acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A ruptura tensional geralmente é produzida por excesso de carga. A forma esgarçada como na figura indica prontamente esse tipo de problema. Por essa razão é totalmente proibido içar qualquer forma ou tipo de carga com cintas com especificações que não atendam a necessidade em questão, incluindo o Fator de Segurança (FS).

A ruptura por calor, mais comum nas cintas de nylon, mas que também afetam as cintas de poliéster, começam com a redução da eficiência das cintas e podem terminar em rupturas físicas.

As protuberâncias são anomalias verificadas nas superfícies das cintas. Usualmente é a consequência da ação de objetos pontiagudos ou cortantes.

Quaisquer desses problemas, e outros não apontadas neste trabalho, são o aviso de que as cintas devem ser retiradas de serviço e substituídas imediatamente por outras, novas. Em razão da ocorrência muito comum de desgastes como os discutidos, as inspeções periódicas das cintas de poliéster são mandatórias. Recomendo inspeções semestrais.

De modo geral as fibras sintéticas empregadas na fabricação das cintas são muito resistentes a produtos químicos em geral, inclusive muitos ácidos. O nylon também é consideravelmente resistente a vários produtos alcalinos. Tanto o poliéster quanto o nylon resistem bem a água, detergentes, óleos e solventes.

Isso não significa que as cintas de poliéster são resistentes a tudo. O recomendável é consultar o fabricante quanto a esse aspecto, especialmente quando as cintas vão ser utilizadas em ambientes agressivos e outros, sujeitos a contaminação ambiental química temporária ou permanente.

Em geral as cintas de nylon não são recomendadas para uso em ambientes ácidos ou na presença de traços de agentes branqueadores. Quanto à temperatura, as cintas de nylon não devem ser usadas quando a temperatura se aproxima de 90°C. Já as cintas de poliéster não são recomendadas para uso em ambientes com traços de aldeídos e/ou de éteres. É preciso levar em conta que as cintas de poliéster se desintegram na presença de ácido sulfúrico concentrado e que se degradam de forma pronunciada na presença de álcalis fortes e em altas temperaturas.

Cuidado especial é necessário quanto à exposição à luz solar e atividades que produzam radiações ultravioleta, a exemplo de arcos de solda. Isso porque expostas a essa forma de radiação as cintas de poliéster podem ser degradadas sem que esse fato seja visível.

Outra característica das cintas de poliéster é a degradação acelerada com temperaturas elevadas, tipicamente a partir de 350°C.

As cintas de poliéster possuem partes denominadas emendas, corpo, comprimento do elo e comprimento da cinta. Como ilustra a figura 10.160.



figura 10.160 anatomia das cintas de poliéster acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O componente **jaqueta de proteção** é um elemento adicional das cintas de poliéster que pode ser do tipo **fixo ou corrediço**. Sua função é oferecer proteção adicional às cintas, principalmente durante a manipulação para a inserção e retiradas das cargas de içamento. As jaquetas podem ser feitas com couro, tecidos muito reforçados de fibras sintéticas, teflon, borrachas sintéticas, poliéster, feltro, PVC e tecidos especiais de espessura adequada ao fim a que destinam.

Esses acessórios ajudam a prolongar a vida útil das cintas de poliéster, especialmente as que sofrem uso muito intenso. Sua aplicação é sempre recomendada para içamento de cargas com cantos vivos e pronunciados. Até porque as jaquetas não se movem quando as cargas são içadas.

As jaquetas são oferecidas no mercado numa grande variedade de materiais, como vimos, e numa boa série de comprimentos.

Na maioria das jaquetas o sistema de fechamento é assistido por tiras de velcro, razão pela qual elas são chamadas de jaquetas rápidas.

A figura 10.161 mostra alguns tipos diferentes de jaquetas de proteção das cintas de poliéster. Em 10.161.1 uma jaqueta integral costurada na cinta ao longo de todo o seu comprimento. A figura 10.161.2 mostra uma jaqueta deslizante convencional. Em 10.161.3 uma jaqueta deslizante rápida, munida de fecho com velcro. A figura 10.161.4 mostra uma jaqueta protegendo a extremidade da cinta.



figura 10.161 jaquetas próprias para as cintas de poliéster acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há outras formas de proteção das cintas de poliéster, como por exemplo a ilustrada na figura 10.162.



figura 10.162 detalhes dos acessórios de proteção para cantos vivos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os protetores de cantos da figura 10.162 estão indicados na cor amarela no lado esquerdo e correspondem ao produto de cor azul na parte direita, tanto a superior quanto a inferior. Essas duas ilustram a aplicação desse dispositivo, especialmente projetado para cargas muito pesadas e que tenham cantos vivos muito pronunciados.

Naturalmente há uma enorme variedade de cintas com diferentes dimensões desses parâmetros, de modo que as aplicações das cintas cubram praticamente todas as necessidades. Muitos fabricantes oferecem serviços exclusivos para casos atípicos, se propondo a fabricar cintas customizadas com dimensões fora de padrão apenas para atender necessidades especiais.

10.6.8.1 tipos

As cintas de poliéster são habitualmente classificadas em seis tipos, de acordo com suas terminações. É o que mostra a figura 10.163.

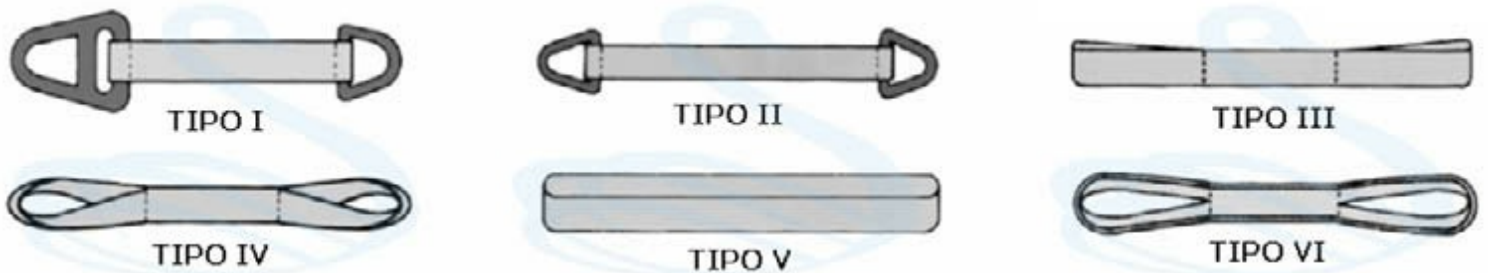


figura 10.163 tipos de cintas de poliéster acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne tipo I

O tipo I é a cinta que possui um triângulo simples numa das extremidades e um triângulo equipado com uma ranhura de ajuste correção na outra extremidade. Esse tipo de cinta também é conhecido como triângulo correção (TC). A aplicação mais comum desse tipo de cinta é em içamentos do gênero correção. Entretanto, o tipo I também pode ser utilizado facilmente em içamentos dos gêneros vertical e cesta. Os triângulos podem ser feitos com ligas de alumínio (TCA) ou com ligas de aço (TCS).

tipo II

O tipo II é a cinta que possui um triângulo simples em cada extremidade. Razão pela qual essas cintas são conhecidas como triângulo – triângulo, ou TT.

Sua aplicação primária é o içamento vertical, mas o gênero cesta também é possível. O tipo II não pode ser utilizado em içamentos corredeiros.

tipo III

As cintas do tipo III são construídas com um elo fechado em cada extremidade. Esses elos são uma extensão do corpo da cinta e, portanto, ficam no mesmo plano. Tais cintas também são conhecidas com cintas olho – olho (OO).

Sua principal aplicação é nos içamentos verticais e cesta. Mas o içamento correção também é possível. Nesse caso uma extremidade é passada no entorno da carga e depois pelo elo da outra extremidade.

As cintas tipo III também são fornecidas com os elos muito reforçados de sorte a poderem ser empregadas com ganchos de aço. Algumas vezes esses reforços são feitos com estruturas metálicas.

tipo IV

As cintas do tipo IV também são construídas com um elo fechado em cada extremidade. Entretanto, agora os elos são torcidos uma vez (EET), artifício que tem a finalidade de deixar a extremidade do elo perpendicular ao plano da cinta. Esse truque facilita muito o içamento do gênero corrediço, por exemplo em relação ao que é possível fazer com as cintas do tipo III.

As cintas do tipo IV também podem ser usadas para içamentos dos gêneros vertical e cesta.

tipo V

As cintas do tipo V formam um elo fechado (EM, para endless). O que se obtém unindo das duas extremidades da cinta com costuras muito reforçadas. Essas cintas também são conhecidas como grometes.

As cintas do tipo V são as mais utilizadas e comuns entre todas as cintas de poliéster, já que sua aplicação extrapola os içamentos dos gêneros vertical, corrediço e cesta, por exemplo como elementos de interligação. São, por assim dizer, as cintas mais versáteis que podem ser adquiridas no mercado. São as mais fáceis de usar e as que duram mais, já que não há triângulos ou elos terminais para desgastar.

tipo VI

As cintas do tipo VI são caracterizadas por terem as beiradas dos corpos costuradas juntas. Isso permite formar elos nas extremidades que ficam perpendiculares ao corpo das cintas. As cintas do tipo VI são conhecidas como olho invertido (OI) porque os elos das extremidades são obtidos por dobras das cintas de modo inverso ao que se faz com os elos dos tipos III e IV.

A maioria das cintas do tipo VI é fornecida com jaquetas de proteção nas duas extremidades ou ao menos em uma delas.

As cintas do tipo VI são destinadas a serviços muito rudes e pesados, especialmente para cargas com formatos muito irregulares.

10.6.8.2 Capacidade das Cintas de Poliéster Como é possível notar, as capacidades das cintas de poliéster dependem de muito fatores. Eis porque praticamente todos os fabricantes produzem tabelas de capacidade de carga, indicando os limites de carga recomendados para cada tipo, modelo, largura e quantidade de camadas, entre outros. Usualmente os valores constantes dessas tabelas são calculados com base nas capacidades dos tecidos utilizados, na eficiência de fabricação, além de Fatores de Segurança.

A resistência à ruptura das cintas de poliéster depende dos materiais utilizado no tecido, da espessura da cinta e dos processos de fabricação e costura.

Com relação à essa resistência, as cintas de poliéster costumam ser divididas nas categorias 5 ou 7. A cintas pertencentes à categoria 5 devem apresentar certificação de resistência à ruptura Não inferior à 3.080 kg/polegada de largura por camada. Essa mesma figura, certificada, para a categoria 7 é 4.440 kg/polegada de largura por camada.

As duas classes podem ser fabricadas com uma ou mais camadas.

O conceito de eficiência de fabricação pode ser resumido a uma taxa entre a resistência à tração do material e a mesma resistência para o produto fabricado. Tal eficiência reflete as perdas d capacidade devido aos estiramentos naturais e outras modificações introduzidas pelo processo industrial. Para cintas com uma só camada a eficiência está ao redor de 80 a 85%. Esse percentual é ligeiramente inferior para cintas multicamadas e, em especial, para as cintas muito largas.

10.6.8.3 Fator de Segurança (FS) O FS (Fator de Segurança) informa a parcela da resistência total à ruptura da cinta que pode ser usada na prática, como figura recomendada pelo fabricante. O FS mais comum utilizado pelos fabricantes é 5.

Desde já recomendo que essa figura seja duplicada, ou pouco mais do que isso.

A capacidade das cintas é usualmente informada em etiquetas costuradas no produto.

Tipicamente cintas de poliéster usam etiquetas azuis e cintas de nylon usam etiquetas pretas. Outras etiquetas podem ser empregadas para informar sobre o fabricante e processos utilizados na manufatura, além de muitos outros.

Veja exemplos de etiquetas na figura 10.164.

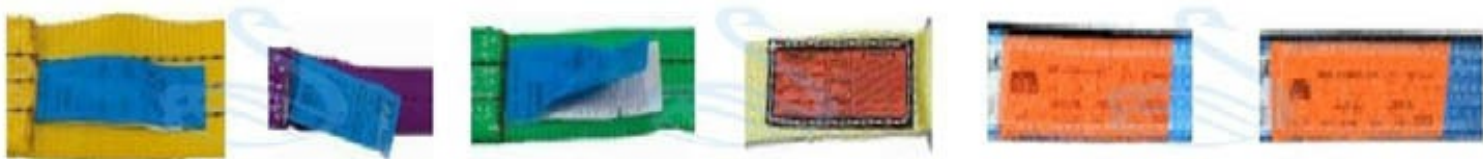


figura 10.164 etiquetas nas cintas de poliéster acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A tabela 10.31 mostra a capacidade de carga de algumas cintas de poliéster de acordo com seus tipos e categorias, além de quantidade de camadas e larguras.

tabela 10.31

CAPACIDADE NOMINAL DE CARGA EM kgf PARA IÇAMENTOS VERTICAIS DE CINTAS DE POLIÉSTER					
CAMADAS	LARGURA POLEGADAS	CATEGORIA 5		CATEGORIA 7	
		TIPOS 1,2,3 e 4	TIPO 5	TIPOS 1,2,3 e 4	TIPO 5
1	1	498	998	726	1.452
	2	998	1.996	1.406	2.812
	3	1.496	2.994	2.132	4.264
	4	1.996	3.992	2.812	5.625
	6	2.994	5.988	4.218	8.436
	8	-	-	5.352	9.616
	10	-	-	6.668	12.020
	12	-	-	7.983	14.424
2	1	998	1.996	1.406	2.812
	2	1.996	3.992	2.812	5.625
	3	2.994	5.998	3.992	7.983
	4	3.920	7.438	4.990	9.979
	6	5.578	11.158	7.484	14.968
	8	-	-	10.296	19.640
	10	-	-	12.882	23.995
	12	-	-	15.467	28.803
4	1			2.495	4.990
	2			4.990	9.980
	3			7.439	14.923
	4			9.253	18.506
	6			13.880	27.760

10.6.8.4 Código de Cores



figura 10.165 código de cores das cintas de poliéster acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Muitos fabricantes adotam códigos de cores para informar a capacidade de suas cintas.

Nesses casos a capa que protege as fibras sintéticas das cintas é fabricada com uma

determinada cor, correspondente a um limite de carga recomendado para aquela cinta. Esse processo facilita bastante a busca da cinta mais adequada para cada trabalho.

A figura 10.165 ilustra esse aspecto.

É claro que a cor é apenas mais uma informação, já que os limites de carga são sempre especificados com muita clareza nas etiquetas das cintas.

10.6.8.5 Cintas Circulares As cintas de poliéster também são fabricadas com formatos circulares. Nesse caso as cintas são sempre do tipo V, formando elos fechados. Essas cintas utilizam filamentos sintéticos não tecidos que ficam protegidos por uma capa, assim como é o caso das cintas em forma de tiras.

Em razão de sua extraordinária flexibilidade as cintas circulares são muito úteis em içamentos corrediços.



figura 10.166 cintas de poliéster de formato circular acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As fibras sintéticas das cintas circulares são torcidas e dispostas de modo tal que a densidade delas é muito homogênea por toda a seção da cinta. O que é feito para potencializar ao máximo a capacidade de carga dessas cintas.

Os fabricantes oferecem muitos acessórios para as cintas circulares, especialmente na linha de jaquetas protetivas e acopladores para que duas ou mais cintas possam ser unidas temporariamente para trabalhar com cargas mais pesadas.

10.6.9 Cordas

As cordas já eram usadas pelos primeiros seres humanos que habitaram o planeta terra. Inicialmente na forma de cipós e lianas. Posteriormente vieram as tentativas de torcer e entrelaçar juntos filetes orgânicos para formar as primeiras cordas com o sentido que lhes damos atualmente. Escavações de antigas civilizações pré históricas evidenciam as tecnologias empregadas para confeccionar as antigas cordas. Há milênios atrás os egípcios se lançavam às construções monumentais e, por isso mesmo, precisavam de cordas para ajudar no içamento de blocos de pedras. Eis porque eles se valiam de fibras de canas aquáticas para fazer cordas.

Os primeiros barcos demandavam cordas para algumas aplicações. Mas foi o desenvolvimento da navegação que exigiu um novo patamar de tecnologia na construção das cordas. À medida que estas eram aperfeiçoadas, as aplicações náuticas se multiplicavam.

Entre essas aplicações estavam os içamentos de cargas. A propósito, na terminologia náutica as cordas são chamadas “cabos”.

Atualmente as cordas são feixes de fibras naturais ou sintéticas trançados entre si para diversas finalidades. A que nos interessa é o içamento de cargas. As cordas podem ser feitas de um único material mas também podem ser uma combinação deles. Os fios de fibras naturais incluem o algodão, a juta, o sisal, o linho, a seda e outros. As fibras sintéticas são obtidas a partir do polietileno, do polipropileno, do poliéster, de vidro e de carbono, além das metálicas.

Há muitas maneiras diferentes de produzir cordas, sendo que cada maneira está diretamente relacionada com a aplicação prevista para a corda.

Apenas para que se tenha uma ideia da resistência mecânica das cordas à tração, para uso de segurança humana as cordas tipicamente devem ser resistentes a mais de 4 toneladas, que é um valor médio aproximado das normas vigentes em diversos países.

As cordas fabricadas para içamento são fabricadas com fibras de poliamida e uma trama externa de poliéster, o que lhes confere resistência à abrasão combinada com uma certa imunidade a agentes químicos e, naturalmente, elevada capacidade de tracionar cargas.

Uma vez que não há certificações para cordas no Brasil, à exceção daquelas utilizadas em Equipamentos de Proteção Individual, não recomendo o uso de cordas fabricadas aqui em sistemas profissionais de áudio. Aliás, muitos fabricantes exibem laudos de técnicos de laboratórios como se esses documentos fossem certificações. O que não são. Apenas as certificações asseguram o cumprimento integral às normas vigentes e a qualidade dos produtos oferecidos no mercado varejista.

Nossas cordas “padrão bombeiro” atendem à Norma Regulamentadora NR 18 do Ministério do Trabalho. Elas devem ser construídas com alma de fios torcidos e três camadas envoltórias trançadas sobre a alma. Essas camadas externas devem ser de fios de polipropileno ou poliamida de cor amarela. A alma deve ter resistência mínima de ruptura de 1,5 tonelada e todo o conjunto deve resistir a 2 toneladas. As cordas equivalentes fabricadas no exterior seguem outras formas estruturais, sendo a mais conhecida a Kernmantle, com alma formada por centenas de fios de poliamida e uma proteção externa bem espessa feita de poliéster.

Para se comparar, cordas “padrão bombeiro” brasileiras com diâmetro de 12 milímetros apresentam resistência mecânica de ruptura máxima de 2,5 toneladas contra 4,0 toneladas das cordas Kernmantle com diâmetro de 12 milímetros.

É verdade que a norma brasileira exige uma sinalização visual de desgaste das cordas. Muitos especialistas consideram isso um perigo potencial porque as pessoas se fiam nessa

alerta. Ou seja, enquanto ele não se manifesta, tudo bem. Ocorre que as cordas podem sofrer contaminações químicas não visíveis, degradações internas produzidas pela ação dos raios Ultravioleta e tantos outros.

A tabela 10.32 resume as resistências para cordas fabricadas no Brasil e o equivalente produzido em inúmeros outros países.

tabela 10.32

ØDA CORDA mm	POLIAMIDA TRANÇADA BRASIL	POLIAMIDA TORCIDA IMPORTADA
	RESISTÊNCIA kgf	RESISTÊNCIA kgf
1,5	70	-
2,0	100	-
2,5	140	-
3,0	190	-
3,5	300	-
4,0	280	-
5,0	550	-
6,0	650	735
7,0	770	-
8,0	900	1.320
10,0	1.300	2.040
12,0	2.200	2.940
14,0	2.700	4.040
16,0	3.100	5.190
18,0	3.850	6.560
20,0	-	8.140
22,0	-	9.800
24,0	-	11.800
26,0	-	13.700
28,0	-	15.500
30,0	-	17.400
32,0	-	19.600
36,0	-	24.300
40,0	-	29.400
44,0	-	35.100

Convém frisar que muitas cordas produzidas no Brasil são fabricadas a partir de material reciclado, o que pode resultar numa drástica redução da resistência à ruptura, por vezes ultrapassando mais de 50% de perda.

10.6.10 Polias, Talhas e Cadernais 10.6.10.1 Polias

Creio que todos os leitores sabem o que é uma polia.

Dispositivo também chamado roldana. Para os que não sabem, polia ou roldana é um disco rígido que pode girar livremente em torno de seu eixo central, como uma roda de carroça.

Os discos das polias têm uma certa espessura, o que é preciso porque todo o perímetro do disco deve conter um sulco tipo meia cana por onde passa uma correia, corrente ou cabo de aço.

A figura 10.167 ilustra uma polia comum.



figura 10.167 polia comum acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O sulco da polia é chamado “gola” e, alguns meios, “garganta”.

Para transferir energia a polia precisa girar em torno de seu eixo.

Como as polias servem transferem energia cinética e força, elas são consideradas máquinas mecânicas elementares.

As polias podem ser fixas ou móveis.

A figura 10.168 ilustra os dois casos.

Nessas figuras “R” representa a força exercida pela carga em kgf.

Ou Resistência.

A letra “F” representa a força que deve ser feita por quem puxa a corda para levantar a carga.

Por isso mesmo denominada força motriz ou força aplicada ou, ainda, força potente.

Claro que se F for exatamente igual à força R a carga permanecerá imóvel e estática. É preciso um pequeno incremento na força motriz para içar a carga.

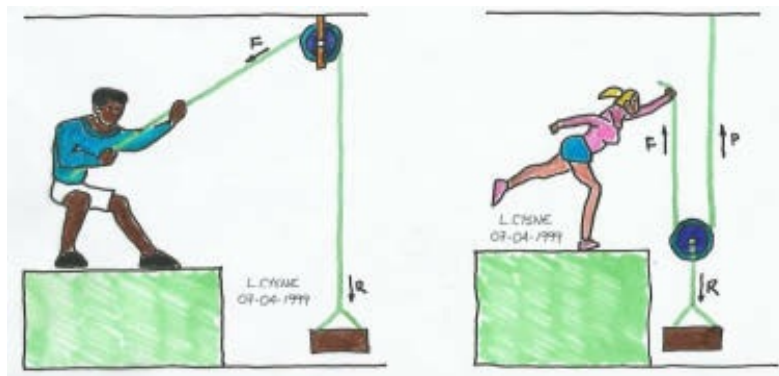


figura 10.168 polia fixa e polia móvel acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Note que no caso da polia fixa na parte esquerda da figura, a força F é igual à força R. Ou seja, a polia apenas permite a elevação da carga, desde que seja exercida força equivalente à força imposta pela carga, mais o pequeno incremento capaz de promover o içamento da carga. Portanto, essa polia apenas muda a direção da força e não sua magnitude. O que, em termos de física, costuma ser colocado como a Vantagem Mecânica é igual a um. Abreviadamente $VM = 1$.

Para cálculos envolvendo polias fixas, considera-se $VM = 1$. O que é denominado alavanca interfixa de braços iguais. Logo, nenhum elemento de trabalho é alterado. Não há qualquer ganho em força e nem tampouco em deslocamento.

No lado direito da figura vemos o caso típico de polia móvel de ramos paralelos.

Veja agora a figura 10.169. Ela repete o lado direito da figura 10.168 com as ilustrações adicionais dos cálculos envolvidos.

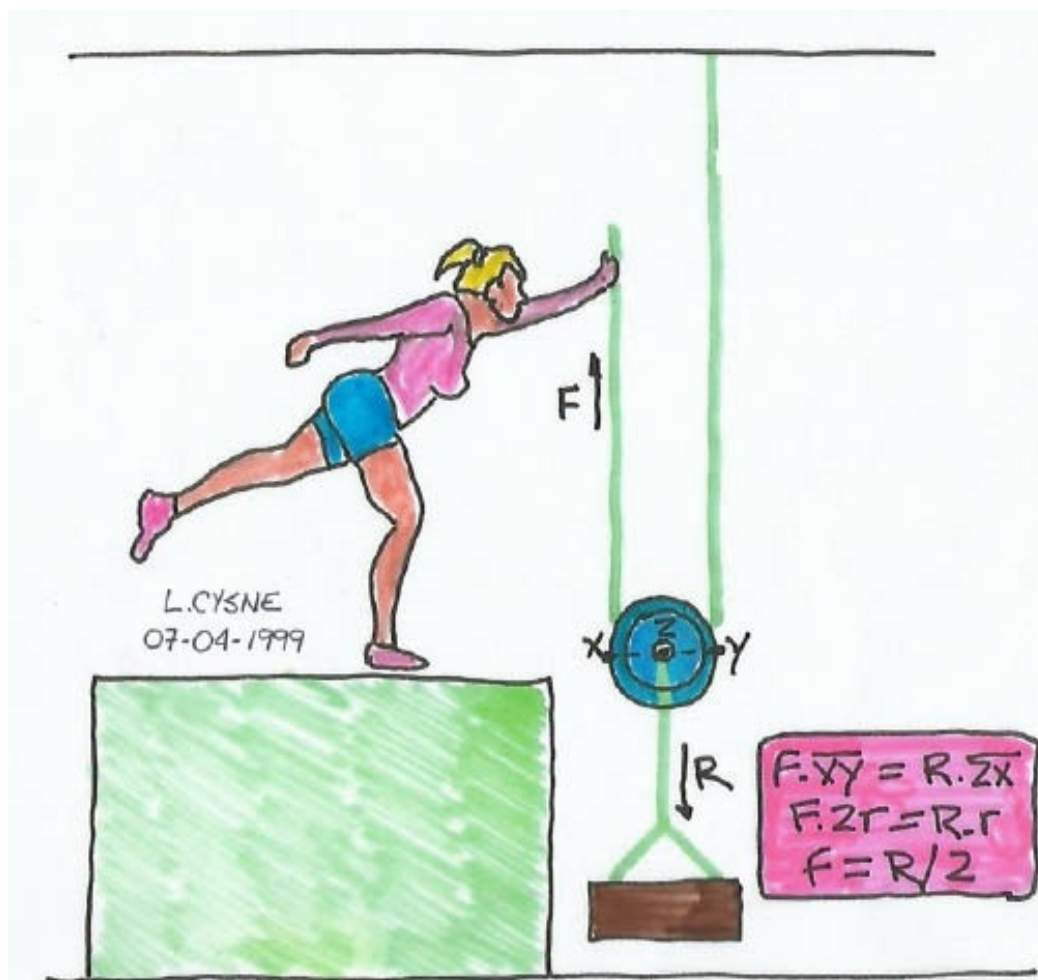


figura 10.169 polia móvel e cálculos envolvidos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os cálculos no rodapé da figura 10.169 detalham a física por trás do caso de uma polia móvel de ramos paralelos. Eles mostram claramente porquê $F = R \div 2$. O que significa que estamos diante de um caso de alavanca inter-resistente cujo braço de potência é a resistência em dobro. Portanto $VM = 2$. Eis porque muitos articulistas não classificam as polias como máquinas simples, dando preferência ao termo “aplicação de alavanca”.

Observe bem que nas polias móveis de ramos paralelos há um ganho certo em termos de força mas, às custas de um prejuízo em termos de deslocamento. Porque a carga move-se apenas metade do trajeto que o ponto de puxamento é deslocado. Isso quer dizer que troca-se o prejuízo no deslocamento pelo ganho em força. Agora, oriente-se pela figura 10.170.

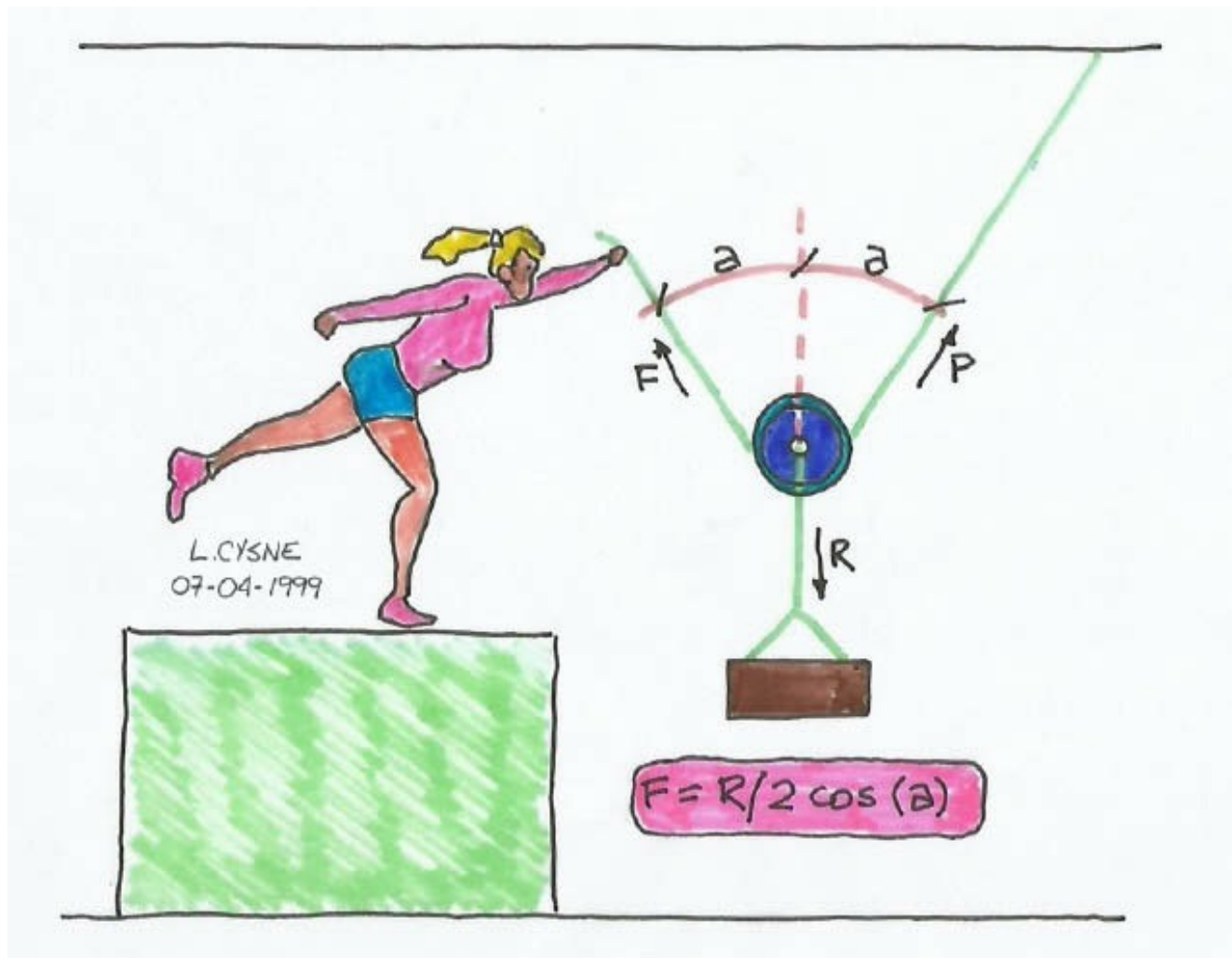


figura 10.170 polia móvel com cordas inclinadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esta figura mostra um caso de polia móvel, mas agora com cordas inclinadas. Os ângulos de inclinação são “a” em relação à vertical que passa pelo eixo da polia.

O cálculo resumido de F está na própria figura. Partindo dele, temos que $VM = 2 \cos a$.

10.6.10.2 Associações de Polias

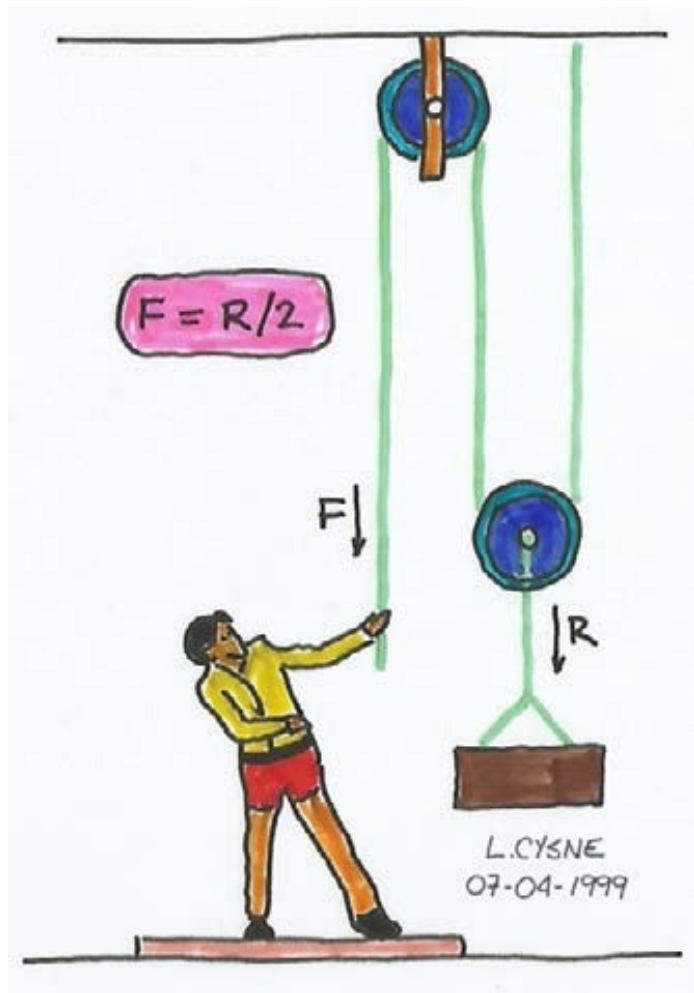


figura 10.171 combinação de uma polia fixa com uma polia móvel acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Dificilmente as polias móveis são usadas sozinhas porque a força motriz precisa ser aplicada de baixo para cima. Na prática isso é um inconveniente que dificulta muito as operações. Eis porque existem combinações de polias móveis com polias fixas.

Vamos para a figura 10.171.

O cálculo resumido de F está na figura. Veja que $F = R \div 2$. Ora, mais uma vez temos um caso de alavanca inter-resistente cujo braço de potência é a resistência em dobro. Então, $VM = 2$.

Atende para o detalhe. Como nas polias móveis de ramos paralelos, nessa combinação também temos ganho de força e, mais uma vez, às custas de prejuízo em deslocamento. Note que para movimentar a carga em 0,5 metro, o indivíduo que puxa a corda deverá deslocar 1,0 metro de seu ramo.

Portanto, também aqui troca-se o prejuízo no deslocamento pelo ganho em força.

Atenção para a figura 10.172.

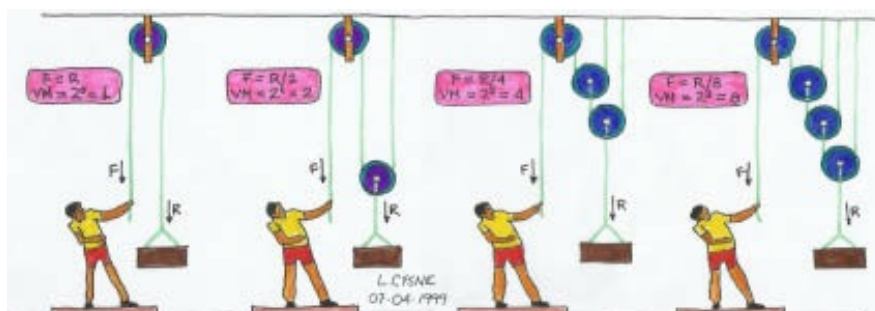


figura 10.172 combinação de uma polia fixa com duas polias móveis acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Aí estão 4 conjuntos de polias.

No desenho da esquerda aparece uma única polia fixa e nenhuma polia móvel. Com $VM = 1$.

O desenho à direita do anterior mostra a combinação de uma polia fixa com uma polia móvel. O que conduz à $VM = 2$.

No terceiro desenho da esquerda para a direita a combinação é de uma polia fixa com duas polias móveis. $VM = 4$. Lembre-se que $4 = 2^2$.

Finalmente, no desenho da direita está a combinação de uma polia fixa com três polias móveis. $VM = 8$. Não devemos esquecer que $8 = 2^3$.

Podemos generalizar escrevendo

$$F = R \div 2^N$$

sendo “N” a quantidade de polias móveis.

Esses arranjos de polias dispostas verticalmente são denominados talhas ou, num jargão mais técnico, talhas diferenciais.

Entretanto, em razão da relação entre F e R, os arranjos da figura 10.163 são chamados talhas exponenciais.

Teoricamente, a quantidade de polias móveis utilizadas não tem limite.

Na prática, a quantidade exagerada de polias móveis aumenta muito o prejuízo com o deslocamento ao ponto dele não mais compensar o ganho em força. O que, definitivamente, impõe um limite prático para a quantidade de polias móveis que pode ser utilizada num mesmo arranjo.

Vejamos outros tipos de talhas verticais.



figura 10.173 combinação de uma polia fixa com uma polia móvel acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nesta figura são utilizadas duas polias. Uma fixa e outra, móvel. Assinalei na figura duas setas em cor vermelha para mostrar que são duas as cordas que tracionam a carga. Logo, cada corda traciona meia força exercida pela carga. Aproximadamente 5 kgf no caso dessa figura.

Portanto, a força motriz é apenas metade da força necessária no caso de uma só polia fixa. O que significa que $VM = 2$. Então, $F = R \div 2$ e a condição de se ter puxar a corda o dobro do que o percurso de subida da carga.

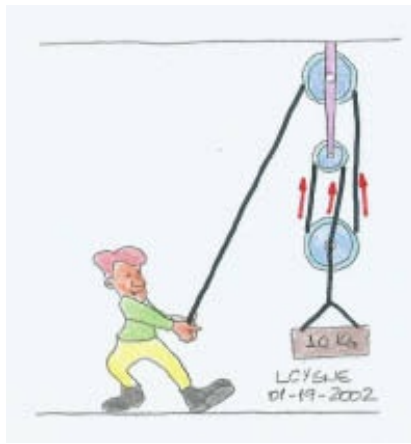


figura 10.174 combinação de uma polia fixa com duas polias móveis acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 10.174 temos um arranjo de duas polias fixas com uma só polia móvel. Veja que agora são 3 as cordas que tracionam a carga. Logo, cada corda traciona um terço da força exercida pela carga. Aproximadamente 3,3 kgf no caso desta figura.

Dessa maneira a força motriz necessária para mover a carga é um terço da força necessária no caso de uma só polia fixa. Isto é, $VM = 3$. Com a condição de se ter que puxar a corda o triplo do trajeto de subida da carga.

Gostaria de fazer uma pergunta a você, caro leitor, para ser respondida antes de prosseguir com a leitura. Topa? Será que podemos usar as 3 polias da figura 10.174 para conseguir um arranjo mais eficiente?

OK. Então veja a figura 10.175.



figura 10.175 combinação de uma polia fixa com um par de polias fixas, mas com o par tendo mobilidade em relação à polia fixa acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Eis a resposta para a pergunta anterior. A figura 10.175 mostra um arranjo de polia fixa com um par de polias móveis, como ilustra o desenho. Por favor, compare esta figura com a figura 10.174. A principal diferença é que o arranjo da figura 10.175 é tal que há 4 cordas ajudando a içar a carga. Por essa razão, a força motriz necessária para mover a carga é um quarto da força necessária no caso de uma só polia fixa. Logo, $VM = 4$. A condição é ter que puxar a corda o quádruplo do trajeto de subida da carga.

Compare esse caso com o da figura 10.174 e tente deduzir porque aumentamos VM sem aumentar as polias. E listar vantagens e desvantagens dos dois casos.

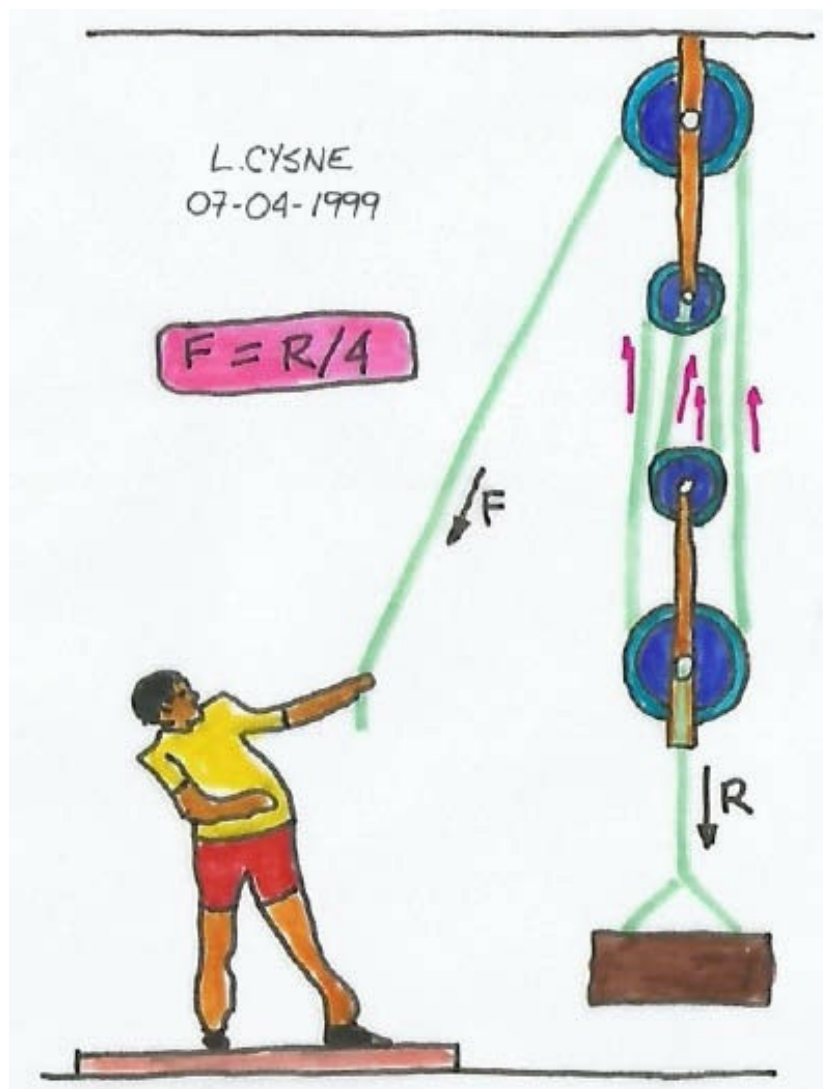


figura 10.176 combinação de dois pares de polias fixa, sendo um par móvel em relação ao anterior acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 10.176 vemos um arranjo de um par superior de polias fixas com um segundo par de polias fixas entre si, mas móveis em relação ao par anterior. Note que ao todo temos 4 cordas tracionando a carga. Portanto, $VM = 4$. Ou, $F = R \div 4$.

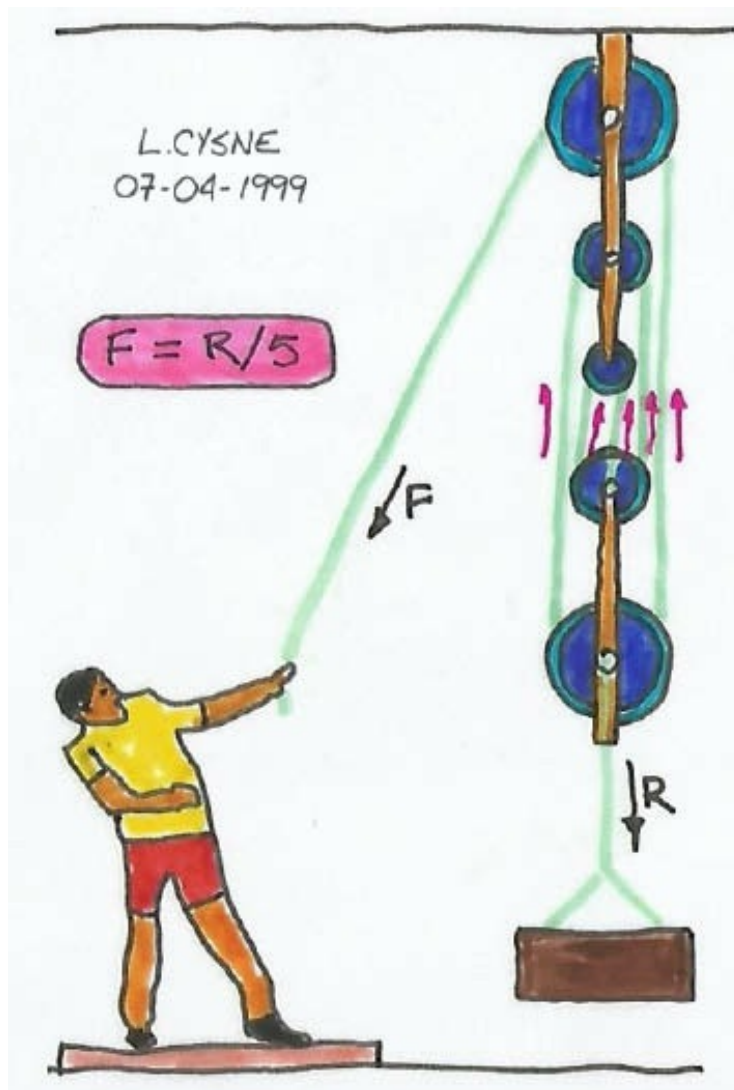


figura 10.177 combinação de uma trinca de polias fixas com um par de polias fixas, sendo o par de polias móvel em relação à trinca acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O arranjo da figura 10.177 é parecido com o da figura 10.176. Apenas que foi adicionada mais uma polia ao, agora, par superior.

Veja que temos 5 cordas tracionando a carga. Então $VM = 5$ e $F = R \div 5$.

Creio que todos esses exemplos são suficientes para demonstrar bem como funcionam as talhas verticais.

10.6.10.3 Cadernais

Há uma particular forma de arranjar duas ou mais polias num mesmo eixo, que recebe o nome de cadernal. A diferença entre os cadernais e as talhas é que os primeiros tralham na horizontal, como sugere a figura 10.178.



figura 10.178 cadernal de 3 polias acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como se pode depreender de tudo o que foi exposto até aqui sobre polias, as combinações de polias, as configurações de talhas e os arranjos de cadernais são extraordinariamente amplas.

Uma dessas combinações, muito apreciada na prática, é o arranjo de dois cadernais de três

polias cada um, sendo o primeiro superior e o segundo inferior.

A figura 10.179 ilustra a ideia.

Observe bem o trajeto da corda nesse arranjo. Veja como as forças são distribuídas e quantas cordas tracionam a carga. Então, o resultado disso é que $F = R \div 6$.

Portanto, $VM = 6$. Fica a condição de se ter puxar a corda seis vezes mais do que o percurso de subida da carga.

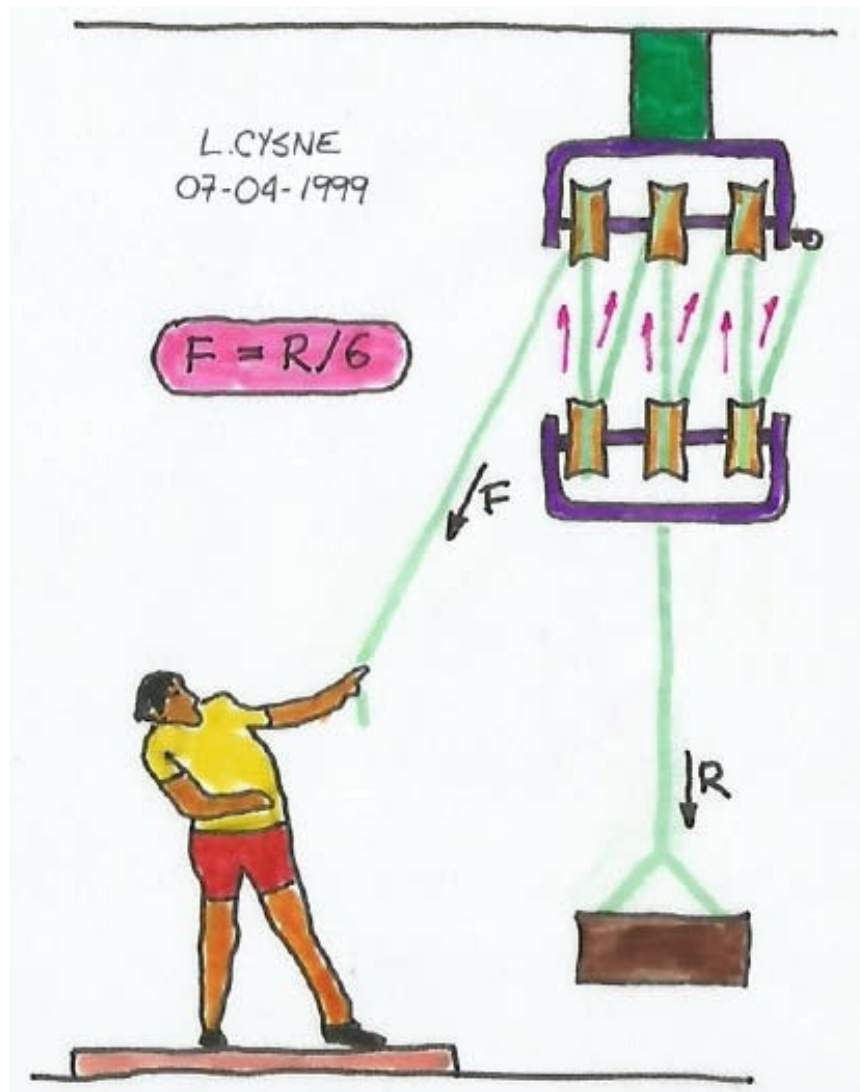


figura 10.179 combinação de dois cadernais de 3 polias cada um acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Muito bem.

Vimos que esses arranjos podem ser construídos de inúmeras maneiras.

Também é relativamente fácil imaginar a enorme quantidade de aplicações dessas máquinas.

Por questões de segurança e de dispositivos legais há muitas atividades de içamento que não podem ser efetuadas por seres humanos.

O que abre espaço para um mercado fértil de máquinas relativamente simples no mercado de içamento.

Para facilitar as coisas daqui para a frente passo a usar o termo “talha” como nome genérico de todo e qualquer arranjo de polias.

As talhas podem ser manuais, pneumáticas ou elétricas.

10.6.10.4 Talhas Manuais As talhas manuais são fabricadas para que o içamento seja feito por um ser humano, através do tracionamento de uma corrente. Essas correntes – denominadas correntes de comando – formam um elo fechado cujo comprimento é o dobro da altura efetiva do içamento.

A figura 10.180 mostra uma talha manual típica equipada com corrente de comando e dois ganchos. Elas são fabricadas com alternativas de capacidade de içamento que varia entre 0,5 a 50 toneladas.



**figura 10.180 talha manual L.K. Goodwin, modelo LHH
cortesia L.K. Goodwin Co.**

Quando a corrente de comando é tracionada uma roda dentada no interior da talha é acionada. O eixo dessa roda é acoplado a um sistema de redução de forças formado por outras rodas dentadas de tal sorte que a carga pode ser facilmente içada, sempre obedecendo às normas e leis de segurança aplicáveis. Por essa razão, quanto maior é a capacidade de carga da talha, maior é a relação de redução de forças no interior da talha. Ao que vale dizer, maior é a relação de dentes da coroa para o pinhão e/ou maior é a quantidade de rodas dentadas.

Como previsível, com menor velocidade real de içamento. Certamente uma desvantagem. Especialmente para casos de içamentos envolvendo grandes alturas.

As rodas dentadas dessas talhas são como engrenagens de câmbios automotivos. Nos casos de menos carga são apenas duas engrenagens. A menor, com diâmetro de aproximadamente 2,5 centímetros, chamada pinhão, e a maior, com diâmetro de cerca de 20 centímetros, chamada coroa. Elas são acopladas como as engrenagens dos câmbios automotivos.

Quando o operador puxa a corrente de comando, ele acaba ativando a engrenagem menor. A corrente que traciona a carga está atrelada à engrenagem maior. Esse sistema de desmultiplicação de engrenagens é o sistema redutor a que me referi antes. A relação de engrenagens pode variar consideravelmente, como for preciso. Em casos extremos engrenagens adicionais são utilizadas para incrementar ainda mais a redução. Essa relação acaba determinando a taxa entre a força motriz a ser exercida pelo operador e a resistência imposta pela carga.

As talhas manuais são fabricadas para içar com segurança cargas de 250 gramas a 50

toneladas, ou mais. As melhores talhas são projetadas e fabricadas com capacidade real de carga da ordem de 4 a 5 vezes os valores especificados. Ou seja, com Fator de Segurança (FS) de 4 a 5.

Idealmente essas talhas são individualmente testadas e certificadas. Permita-me lembrar. As talhas não utilizadas apenas para içar cargas, mas também para baixá-las.

Um dos recursos obrigatórios de toda e qualquer talha manual é a proteção contra excesso de carga.

A figura 10.181 mostra um outro tipo de talha manual. Trata-se da talha de alavanca. Nesses modelos as talhas usam sistemas de catracas e engrenagens. Geralmente se prestam a serviços limitados a cargas reduzidas. Usualmente não mais do que 6 toneladas.



figura 10.181 talha manual de alavanca cortesia Badger industrial As talhas manuais de alavanca são uma forma muito econômica de içar cargas de peso reduzido ou mediano.

10.6.10.5 Talhas Elétricas Essas são as talhas mais comuns utilizadas em sistemas profissionais de áudio. Talhas elétricas podem ser monofásicas ou trifásicas.

Tipicamente são oferecidas talhas elétricas de 500 kgf a mais de 20 toneladas. Entretanto, valores de cargas acima de 15 toneladas não são muito comuns.

As talhas elétricas possuem painéis de controle com contadores e partes que podem ser substituídas com facilidade para acelerar manutenções, sempre que preciso. Um dos predicados dos motores elétricos é o arrefecimento térmico que deve ser superior com a finalidade de alongar a vida útil da trena.

Além disso os motores elétricos usualmente são protegidos contra sobrecargas. Outro recurso sempre desejável nas talhas elétricas é o freio eletromagnético. Hermético e refrigerado com ventoinhas, seu funcionamento é crucial para a segurança da talha. Por essa razão esses componentes são muito especiais, com testes certificados de 1 milhão de ciclos operacionais.

Um dos aspectos muito importantes em qualquer trena elétrica a ser empregada em sistemas profissionais de áudio é a altura de içamento. Vimos que as correntes devem ter aproximadamente o dobro dessa altura. Muitas vezes o içamento é feito com alturas de 15,0 metros ou mais.

As talhas elétricas que trabalham com correntes tão grandes devem ser equipadas com uma

cesta para o acolhimento das correntes. Como mostra a figura 10.182.



figura 10.182 detalhe da cesta porta corrente imediatamente abaixo da talha, modelo SC200 cortesia Haoke Co.

As talhas elétricas podem ser controladas a partir de seus próprios painéis ou através de controles remotos. Os quais possuem botoeiras tipo “sobe”, “para” e “desce”. Em casos de grandes alturas de içamento os controles remotos devem possuir cabos correspondentemente longos para que o controle possa ser exercido no piso interior. Alternativamente é possível acionar as talhas através de controle remoto a rádio.

Muitas vezes é preciso utilizar duas talhas para içar uma só pilha line array. Nesses casos o ideal é que as duas talhas trabalhem sincronizadas. Isso deve ser encomendado ao fabricante das talhas para que possa ser providenciado a tempo.

Como mencionei antes, as talhas não se prestam só para içar as cargas, mas também para descê-las verticalmente.

Vou dar um exemplo de quando isso é necessário.

Instalamos um sistema de reforço de som no Teatro Municipal de São Paulo no qual há duas pilhas line array Meyer Sound. Para não comprometer de modo permanente a beleza e a estética interior de espaço tão mágico, essas pilhas só são empregadas quando há necessidade premente disso.

Portanto, as duas pilhas são guardadas nas imediações do palco, em carrinhos que são usados para transportá-las do almoxarifado até o local de uso.

Claro que posteriormente é preciso voltar as pilhas para o almoxarifado. Quando digo local de uso quero me referir ao ponto do palco onde as pilhas podem ser içadas.

As talhas usadas no Teatro Municipal de São Paulo são as da figura 10.183.

Veja na parte bem inferior da figura, ao centro, que lá está a cesta para cabos, uma vez que a altura para içamento das duas pilhas é considerável.



figura 10.183 uma das talhas elétricas de corrente para grande altura que instalamos no Teatro Municipal de São Paulo para elevar as line array Meyer Sound acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne. Todas as talhas elétricas são equipadas com um dispositivo de fim de curso para impedir que, em seu ascendente, a corrente ultrapasse o ponto limite além do qual danos seriam inevitáveis.

10.6.10.6 Talhas Pneumáticas



figura 10.184 talha pneumática de 3 toneladas, de corrente cortesia J. D. Neuhaus Engineered for Extremes. A figura 10.184 mostra uma típica talha pneumática de corrente, capacidade 3 toneladas. As talhas desse gênero operam com um motor de ar comprimido, que gera o torque para o mecanismo redutor de força. Os motores de ar comprimido têm capacidade natural para iniciar o movimento de subida, parar, iniciar o movimento de descida e reverter de qualquer função para qualquer outra, com transições sempre muito suaves. Além disso, velocidades variáveis é uma das características mais marcantes das talhas pneumáticas.

Considero uma tremenda vantagem o fato dessas talhas serem auto arrefecidas. Isto é, elas não demandam nenhum dispositivo adicional para controlar a temperatura do motor. Nem dependem de condições ambientais para isso. O motivo é que os motores a ar possuem esse predicado intrínseco – o do auto arrefecimento.

Por essa razão essas talhas são ideais para situações nas quais as temperaturas são muito elevadas.

EM minha opinião, a maior vantagem das talhas pneumáticas é que, ao contrário das elétricas, não produzem faíscas elétricas. Fato inevitável nos motores elétricos. Desse modo, as talhas pneumáticas são recomendadas com exclusividade para ambientes nos quais os arcos elétricos são perigosos, como em refinarias de petróleo, oficinas que usam combustíveis explosivos, áreas reservadas para pinturas e tantas outras.

Como as talhas elétricas, as pneumáticas também são equipadas com dispositivo de fim de curso. A ideia é a mesma. Impedir que, em seu ascendente, a corrente possa ultrapassar o limite além do qual os danos seriam uma certeza.

Em razão das vantagens distintas acima alinhadas, pessoalmente dou preferência às talhas pneumáticas, das quais entendo que as de corrente são melhores para sistemas profissionais de áudio.

10.6.11 Dispositivos Elevatórios 10.6.11.1 Andaimes



figura 10.185 andaime convencional acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Veja na figura 10.185 um andaime dos mais comuns encontrados no mercado. Como se percebe, andaimes são estruturas metálicas tubulares que podem ser montados para adquirir a forma de uma torre.

Sua principal característica é a fácil montagem e a fácil desmontagem. Os andaimes são utilizados para trabalhos até uma certa altura, legalmente determinada em função da base da estrutura.

Bases com 1,0 x 1,0 metro podem ser montadas até chegar a 4,0 metros de altura. Torres cujas bases são de 1,0 x 1,5 metros podem atingir 6,0 metros e torres com bases de 1,0 x 2,0 metros podem chegar a 8,0 metros de altura.

O profissional que faz a montagem e a desmontagem dos andaimes deve conhecer bem a estrutura, incluindo todas as suas peças elementares, que são os próprios painéis metálicos de 1,0 x 1,0 metro, de 1,0 x 1,5 metros ou de 1,0 x 2,0 metros para cada metro de altura, as diagonais de reforço, as barras de ligação de 1,0 metro, de 1,5 metros ou de 2,0 metros para ligação dos painéis, as sapatas fixas, as sapatas reguláveis, os rodízios com e sem trava, as plataformas convencionais e ante derrapantes, as escadas, os guarda-corpos e os rodapés.

Embora possa ser feita rapidamente, a montagem requer cuidados especiais. O primeiro é ter toda a certeza de que cada uma das peças foi encaixada e travada adequadamente. Melhor é uma pessoa fazer a montagem e outra conferir todos os detalhes da montagem.

O segundo cuidado é com o içamento dos componentes à medida em que a torre vai ficando mais alta. Cuidado para que as peças sejam içadas adequadamente e com toda a segurança, e para que elas não colidam com a parte já montada da torre. O que poderia deslocar peças e comprometer a integridade estrutural do todo.

A montagem e a desmontagem requerem uso de EPI e obediência total à norma NR 18 do Ministério do Trabalho. Repito, ela deve ser lida e observada integralmente, sem que se desrespeite uma só postura.

Antes de iniciar a montagem do andaime o profissional encarregado deve se certificar de que o pavimento que vai suportar a base está relativamente bem nivelado.

Jamais se deve montar andaimes nas proximidades de redes elétricas, mesmo que elas estejam desligadas.

Os andaimes com rodízios não podem ser movimentados com pessoas fazendo uso deles.

Nem pensar em montar escadas sobre as plataformas dos andaimes para aumentar a altura de trabalho.

Há andaimes convencionais e andaimes muito reforçados para finalidades onde as exigências são mais rigorosas. Esse é o tipo que gosto de especificar.

10.6.11.2 Balancins

Os balancins mais comuns são os de cabos passantes e acionamento manual e os elétricos. Ambos ilustrados na figura 10.186.



figura 10.186 balancim de cabos passantes à esquerda e balancim elétrico à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O uso de balancins implica em riscos. Acidentes usualmente são fatais e, quando não, são de alto nível de gravidade. O que inspira cuidados especiais e rigor em todo o processo de montagem, uso e desmontagem.

Essas regras fogem ao escopo deste trabalho. Mas é recomendável que os interessados leiam todas normas de segurança aplicáveis e, principalmente, que contem com a ajuda profissional em campo de um engenheiro de segurança.

Muitos fabricantes e locadores de balancins também oferecem manuais de operação e de segurança de balancins, além de instruções de guarda das partes, da montagem e da desmontagem, além de critérios de segurança.

10.6.11.3 Cadeirinhas As cadeirinhas elevatórias podem ser utilizadas para determinados trabalhos, sempre por profissionais para tanto credenciados e com o equipamento devidamente aprovado pelo Ministério do Trabalho e, de preferência, testado por um órgão certificador, como o Inmetro, o IPT ou o Fundacentro, órgão do Ministério do Trabalho.

A figura 10.187 mostra uma cadeirinha de corda à esquerda e uma de cabo de aço à direita.



figura 10.187 cadeirinha de corda à esquerda e cadeirinha de cabo de aço à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Muitas vezes as cadeirinhas são utilizadas como parte do processo de içamento de médio ou de grande porte de itens de sistemas profissionais de áudio.

Veja um claro exemplo disso na figura 10.188.

Essa é uma de minhas instalações. O que está sendo içado é uma pilha de line arrays com 4 elementos. Observe na figura que atrás da pilha está um profissional fazendo ajustes de fixação. A pilha foi içada com equipamento altamente especializado, motorizado com grande desmultiplicação de força. O profissional da foto está suspenso por uma cadeirinha de cabo de aço com proteção de dois cabos adicionais.



figura 10.188 profissional atrás da pilha de line array usando cadeirinha de cabo de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para a grande maioria das empresas que presta serviço de instalação em sistemas profissionais de áudio não compensa manter em suas equipes profissionais com essas qualificações. Por essa razão, recomendo que se contrate empresa especializada nessas atividades. Deve-se procurar referências para evitar problemas futuros.

10.6.11.4 Mini Plataformas As mini plataformas, também chamadas balancins individuais, são uma variante dos balancins já discutidos anteriormente. Sua aplicação tende naturalmente para os espaços estreitos e mais confinados.

Usualmente a mini plataforma individual opera com um guincho manual de cabo passante, embora haja modelos equipados com tracionamento elétrico. Os cabos usualmente são de aço de alta resistência.

As mini plataformas costumam ser totalmente desmontáveis, o que facilita muito o transporte.

Tudo o que discutimos anteriormente para os balancins é aplicável às mini plataformas. Elas pesam cerca de 50 quilos e a capacidade de carga é da ordem de 250 quilos.

Esses dispositivos podem ser fixados em vigas ou com contrapesos, usualmente com

dispositivos duplicados de segurança. Veja uma mini plataforma na figura 10.189.



figura 10.189 mini plataforma individual cortesia LokarMak 10.6.11.5 Mini Grua

As mini guas são ilustradas na figura 10.190.



figura 10.190 mini grua cortesia Rhishikesh Engineers Private Ltd.

Esses são equipamentos de alta produtividade e, num consenso entre os usuários, muito versáteis. A capacidade de içamento pode atingir 100 metros.

As mini guas são projetadas para que sua montagem seja muito fácil e a operação simplificada.

As mini guas caracterizam-se por ocupar pouco espaço e trabalhar com alta velocidade. Cerca de 15 a 20 metros por minuto. A capacidade de içamento pode atingir cifras que se aproximam de uma tonelada. O comprimento da lança de uma mini grua pode variar de poucos metros para atingir 20 metros.

Outro recurso interessante das mini guas é que elas possibilitam giro de até 360°.

Parada de emergência é um recurso comum nas mini guas. O quadro de comando de um dispositivo desses inclui todas as botoeiras de acionamento. Sensores digitais de carga são encontrados nos modelos mais sofisticados.

10.6.11.6 Plataforma Tesoura Veja uma plataforma tesoura de porte médio na figura 10.191.



figura 10.191 plataforma tesoura modelo GS26

As plataformas tesoura são muito utilizadas quando a altura é compatível com a possibilidade desses produtos, que pode ultrapassar 15 metros.

A energia para as plataformas é provida por baterias recarregáveis. O que as habilita para uso interno em quaisquer condições. Portanto, elas operam sem emissão de gases de quaisquer tipos e em silêncio. A recarga elétrica pode ser feita a partir de qualquer tomada de energia convencional.

As plataformas tesoura unem as propriedades de ocupar pouco espaço, elevada manobrabilidade física e elevadas capacidades de carga, que podem chegar a meia tonelada.

Algumas plataformas são equipadas com decks que podem comportar muitos profissionais. Outros modelos são equipados com decks com extensores, para aproximação de locais pouco acessíveis.

Pessoalmente entendo que a produtividade das plataformas tesoura é sempre muito elevada.

10.6.11.7 Plataforma Individual Com acionamento telescópico, as plataformas individuais podem atingir mais de 15 metros de altura. Entretanto, a maioria delas opera com alturas variando entre 5 e 10 metros.

O acionamento das plataformas individuais é feito por motores elétricos de 220 volts.



figura 10.192 plataforma individual cortesia Bilden Tecnologia em Processos Construtivos Essas plataformas são de montagem muito rápida e operação absolutamente simplificada, que pode ser realizada por um profissional treinado. Ele pode elevar e descer a plataforma e em alguns casos, de bases equipadas com rodas, mover horizontalmente a plataforma.

A principal característica das plataformas individuais é que elas podem ser empregadas em

áreas da ordem de 60 x 65 centímetros. A capacidade e de carga é de aproximadamente 150 quilos, no limite. Fora isso, esses equipamentos são leves e compactos.

Veja uma plataforma individual na figura 10.192.

10.6.11.8 Guincho de Coluna A figura 10.193 exhibe um típico guincho de coluna.



figura 10.193 guincho de coluna cortesia CSM

Como se nota, a montagem desses guinchos está relacionada de perto com o seu nome de guerra. Eles podem trabalhar com cargas de até 250 quilos, ou mais.

Modelos pequenos trabalham com motores monofásicos, mas os maiores são trifásicos.

Uma das características dos guinchos de coluna é que eles são muito seguros. Entretanto, como para outros equipamentos elevatórios, a montagem e a operação dos guinchos de coluna só deve ser feito por profissionais para tanto credenciados e que tenham lido totalmente os manuais de instruções e de operação do particular produto em uso.

10.6.11.9 Munck

Também chamados Guinchos Rodoviários e Guindautos, os caminhões Munck são equipados com lanças telescópicas de ação hidráulica, articuladas e geralmente com elevada capacidade de rotação. O que os habilita a transportar, movimentar e içar cargas muito grandes e pesadas.

O transporte é possível porque quase todos os caminhões Munck possuem carroceria.

Os caminhões Munck podem ter diversas capacidades de carga e vários alcances físicos, com modelos que praticamente se ajustam a quaisquer necessidades.

A figura 10.194 exhibe um caminhão Munck completo.



figura 10.194 caminhão Munck cortesia Munck

O termo “Munck” vem do nome de um fabricante desse equipamento que não produz mais no Brasil. Mas o nome ficou como Gillette, inicialmente marca de produto e, depois nome genérico a todas as lâminas de barbear. Assim há outros, que passaram a ser usados como se fossem o nome do próprio produto.

10.6.11.10 Lanças Telescópicas Como o nome sugere, as lanças telescópicas são equipamentos que se expandem através de dispositivos telescópicos, geralmente uma lança convencional.

A base é geralmente um sistema customizado pelos projetistas desses equipamentos, todos orientados para a fácil manobrabilidade.

As lanças telescópicas têm alcance horizontal que depende do equipamento, mas podendo chegar aos 20 metros. A capacidade típica dessas plataformas chega aos 500 quilos, ou mais.

A ação elevatória da lança é usualmente hidráulica.

Os modelos industriais mais pesados podem chegar a capacidades de carga da ordem de 50 toneladas com alcances horizontais que se aproximam de 50 metros.

Veja na figura 10.195 uma lança telescópica de porte pequeno/médio.



figura 10.195 lança telescópica de porte pequeno/médio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
10.6.11.11 Lanças Telescópicas Articuladas



figura 10.196 lança telescópica articulada cortesia Mills

A figura 10.196 mostra uma lança telescópica articulada. Se observarmos bem veremos que essa é uma variante das lanças telescópicas. Apenas que a lança foi equipada com um ou mais dispositivos de articulação.

Essa articulação adicional confere a esses equipamentos uma versatilidade ímpar, já que facilita consideravelmente atingir pontos menos acessíveis, sempre com muitas alternativas possíveis de aproximação e passagem.

As demais características são comuns, exceto que a operação é algo mais complexa.

Nos dois casos de lanças telescópicas faz-se mister que o operador seja devidamente credenciado para essa função específica.

10.6.11.12 Guindastes O termo “guindaste” é um tanto ou quanto genérico e abrange vários formatos de equipamentos, entre os quais estão as gruas usadas em construção, os guindastes portuários com capacidades típicas superiores a 100 toneladas, muitos modelos especializados em tarefas específicas e outros. Entre esses outros está um que eventualmente pode ser usado nas instalações de sistemas profissionais de áudio de grande porte. São os caminhões guindastes hidráulicos. Projetados e construídos para elevações e instalações, esses equipamentos são adequados para trabalhos radicais.



figura 10.197 guindaste hidráulico QY70K

cortesia XCMG – Xuzhou Construction Machinery Group A figura 10.197 mostra um guindaste hidráulico da XCMG – Xuzhou Construction Machinery Group, modelo QY70K que tem alcance máximo de 42 metros. A velocidade é tal que o processo completo demora entre 100 e 150 segundos.

A capacidade máxima de levantamento é 70 toneladas, com limitador de sobrecarga. Além disso, há uma chave limite de içamento. Por essas razões, a operação é sempre muito segura para o operador.

O peso bruto desse equipamento é 41 toneladas.



figura 10.198 guindaste Liebherr modelo LTM1500

cortesia Liebherr Na figura 10.198 mostra um guindaste marca Liebherr, modelo LTM1500, com capacidade para 500 toneladas. Sua lança pode atingir uma distância de 149 metros com contrapeso de 165 toneladas.

Como se pode imaginar, um equipamento como esse possui sistema de diagnóstico de falhas e um eficiente aparato de monitoração de segurança. Inclusive para sobrecargas.

10.6.11.13 Escada Magirus Magirus é o nome de uma empresa de origem alemã, fundada em 1864, voltada para a fabricação de produtos destinados a ajudar as forças de Corpos de Bombeiros a combater incêndios. A figura 10.199 dá uma ideia da tradição da empresa, cujo fundador foi Conrad Dietrich Magirus.



figura 10.199 carroça antiga Magirus cortesia Magirus

A Magirus produz uma grande variedade de artigos, distribuídos por famílias que reúnem produtos do mesmo gênero. Neste momento quero mostrar os caminhões equipados com escadas, como o da figura 10.200.



figura 10.200 escada Magirus moderna montada em caminhão cortesia Magirus

Observe que a base da escada possui um mecanismo de giro, o que flexibiliza consideravelmente as operações. O alcance de uma escada como essas pode ultrapassar os 60 metros. O que equivale a um edifício com 20 andares. Isso facilita muito o salvamento de pessoas aprisionadas em andares elevados quando o incêndio ocorre nos pavimentos mais baixos.

Há empresas que alugam esse equipamento que, eventualmente pode ser utilizado em instalações e/ou manutenção de sistemas profissionais de áudio, especialmente em casos nos quais há itens suspensos a grandes alturas. Como, exemplificativamente, em casos de arenas esportivas.

10.6.12 Pontos de Ancoragem

Praticamente todas as caixas acústicas convencionais, assim como as line array, além de subwoofers, são projetadas e construídas para que possam ser instaladas numa enorme variedade de possibilidades físicas.

Essas possibilidades incluem caixas simplesmente apoiadas no piso, caixas fixadas em paredes em alturas variáveis, caixas que devem ser içadas elevadas do piso sozinhas ou em clusters, para instalações temporárias ou permanentes e tantas outras alternativas.

Para tanto, é absolutamente fundamental que todas essas caixas acústicas sejam providas de pontos de ancoragem.

Ponto de ancoragem é o local da caixa acústica por onde ela será pendurada para içamento ou para que seja mantida suspensa.

Há basicamente dois tipos de pontos de ancoragem.

O primeiro tipo se vale de uma linha de acessórios como os dispositivos ilustrados na figura 10.201.



figura 10.201 ancoragem tipo aeronáutico fabricação ATM, modelos AF-RSPF (198 kg), AF-RPF (210 kg) e AF-SPF (198 kg), respectivamente da esquerda para a direita cortesia ATM Fly-Ware
Pessoalmente não recomendo esse tipo de produto. O motivo é que sua fixação no gabinete da caixa depende muito dos parafusos utilizados, se seu aperto e, principalmente, do estado da madeira ou MDF do gabinete. Que tende a se degradar com velocidade elevada quando a caixa é empregada em ambientes externos e os cuidados com inspeção e outros são relegados a um plano secundário.

Quando eles são fornecidos como parte integrante do produto acabado o cenário pode ser um pouco mais confortável. Entretanto, quando o acessório é aplicado ao produto novo ou usado pelo proprietário, nem sempre os cuidados essenciais podem estar sendo tomados.

O segundo tipo é parte da caixa acústica. Veja o caso da caixa acústica Renkus Heinz modelo ST 4.

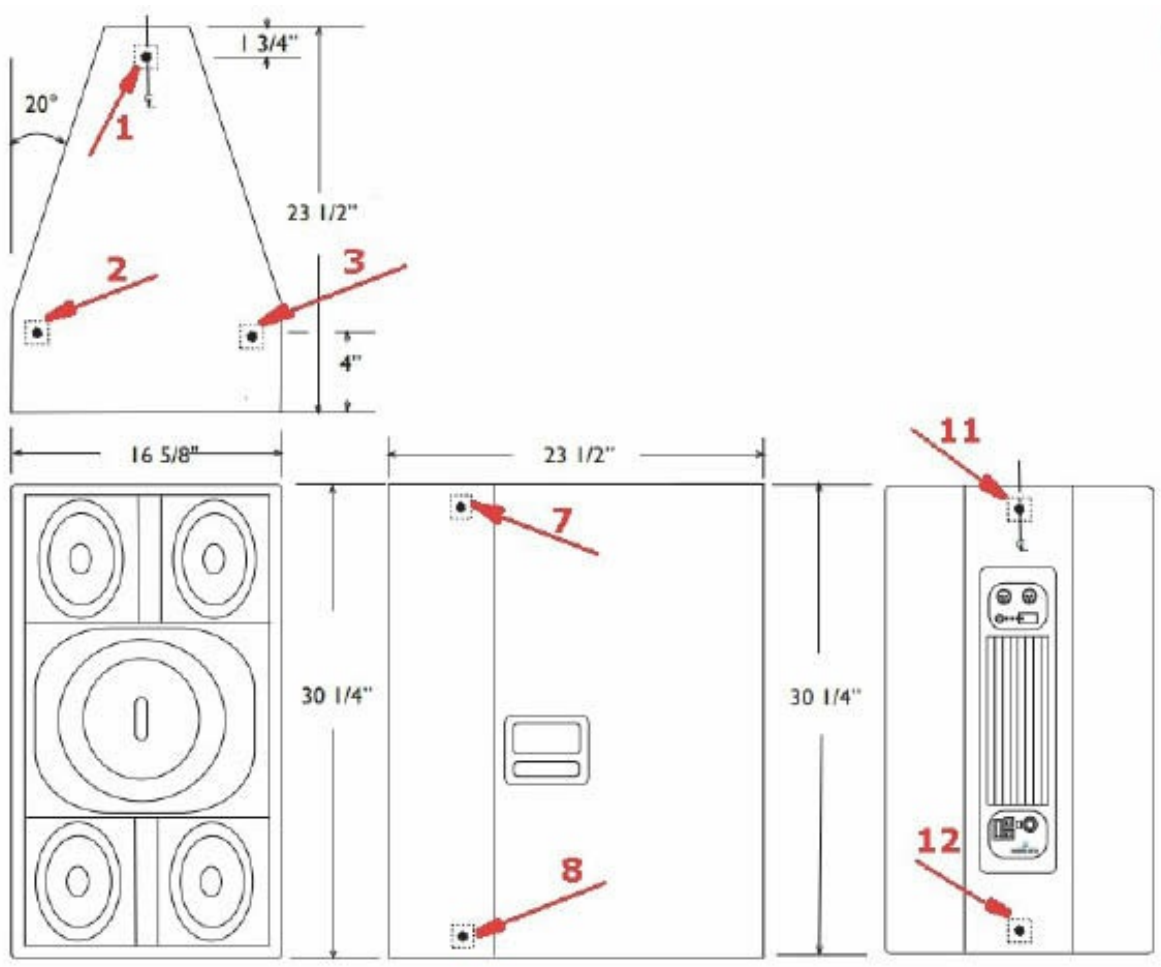


figura 10.202 quantidade e localizações dos pontos de ancoragem (padrão universal) da caixa acústica Renkus Heinz modelo ST 4

cortesia Renkus Heinz e engº Luiz Fernando O. Cysne A vista superior da figura 10.202 mostra os pontos de ancoragem 1, 2 e 3. Os pontos 4, 5 e 6 ficam na face inferior, que não faz parte dos desenhos. Os pontos 7 e 8 ficam na lateral direita da caixa. Os pontos 9 e 10 ficam na lateral esquerda que também não aparece nos desenhos. Os pontos 11 e 12 ficam na parte traseira da caixa. Todos esses pontos são dotados de rosca M10 e estão posicionados a 1 UR (Unidade Rack) das bordas, exceto quando especificado de outro modo.

Usualmente esse tipo de ponto de ancoragem não é feito apenas no gabinete da caixa acústica, mas sim com o auxílio de chapas metálicas que ajudam a distribuir melhor a pressão exercida nas paredes do gabinete.

Veja a figura 10.203.

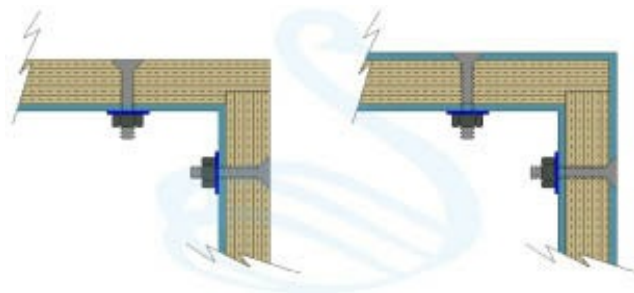


figura 10.203 caixas acústicas com suportes metálicos para assegurar melhor desempenho físico das juntas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esses suportes podem ser aproveitados para proporcionar melhor qualidade na fixação dos pontos de ancoragem.

A figura 10.204 mostra algumas formas de reforçar as caixas acústicas utilizando peças metálicas. No lado esquerdo cantoneiras convencionais. Ao centro, um, dois ou mais quadros internos metálicos oferecendo uma estrutura bastante resistente para a caixa acústica. No lado direito o mesmo que a figura anterior, mas agora com um reforço extra para dois pontos de ancoragem laterais, para que as caixas possam ser sustentadas por suportes em “U”.

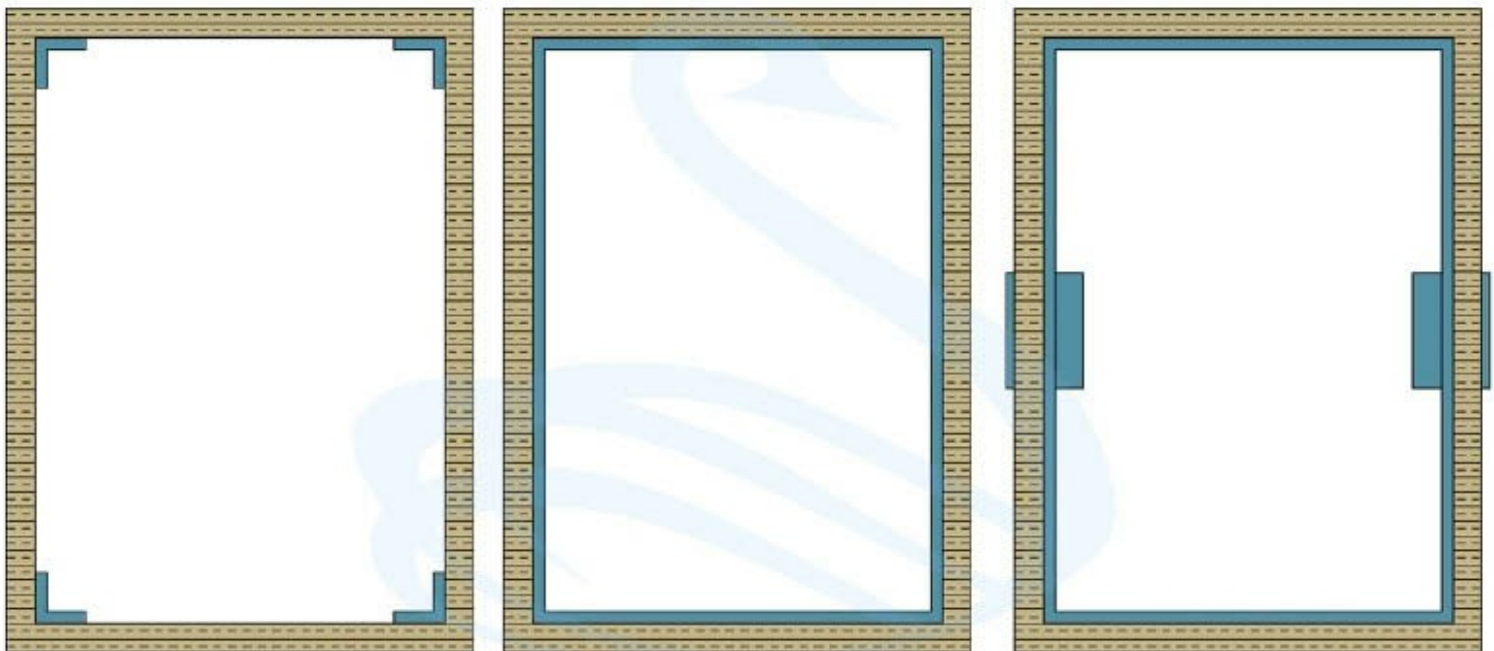


figura 10.204 caixas acústicas com suportes metálicos internos de reforço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Içar e manter caixas acústicas elevadas no espaço requer que essas caixas tenham pontos de ancoragem, aos quais podem ser instalados dispositivos que possibilitem o içamento e a manutenção das caixas nos locais desejados.

Esses pontos de ancoragem devem estar estrategicamente posicionados nas caixas de modo a permitir todas as orientações espaciais sugeridas pelo fabricante.

10.6.12.1 Bumper e Gride Eis um binômio que pode criar alguma confusão na área. Afinal, há quem use esses dois nomes como se eles fossem sinônimos.

bumper

Bumper é nome genérico dos quadros, geralmente metálicos, projetados para suportar uma ou mais caixas acústicas. Costumam ser fornecidos acompanhados de linhas mais ou menos extensas de acessórios.

A figura 10.205 mostra dois bumpers diferentes.



figura 10.205 bumpers integrais para caixas acústicas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

Os grids são estruturas algo mais complexas que os bumpers, como sugerem as partes superiores à esquerda e à direita da figura 10.206.



figura 10.206 dois grids para clusters de caixas acústicas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

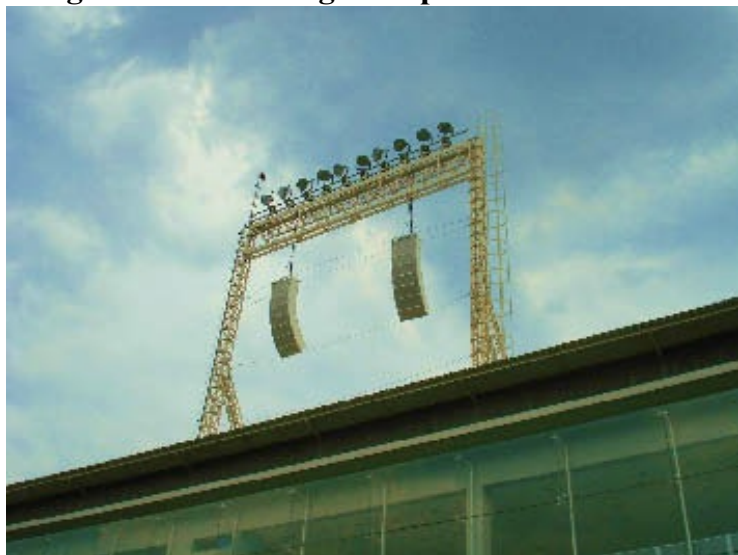


figura 10.207 grille sustentando duas pilhas de minhas caixas acústicas, modelo C212 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na maioria das vezes esses grids são projetados de forma customizada para atender determinados casos muito peculiares. É que mostra a figura 10.207, uma foto de uma de nossas instalações numa arena esportiva de grande porte.

10.6.12.2 Caixas Acústicas Convencionais



figura 10.208 seis caixas acústicas RH modelo STX 4 suspensas e fixadas a um gride Adaptive Technologies Group SAS-024-SB (capacidade 295 kg) cortesia Adaptive Technologies Group e Renkus Heinz O gride superior que aparece na foto da figura 10.208 é fabricado pela Adaptive Technologies Group. Ele sustenta seis caixas acústicas Renkus Heinz, todas modelo STX 4.

Perceba que cada caixa é fixada ao gride através de três tirantes. Note também que cada um desses tirantes é atrelado a um olhal que, por sua vez, é instalado num dos pontos de ancoragem da STX 4. Isso foi o que vimos na figura 10.193.

São esses três tirantes de cada caixa acústica que permitem ajustar a angulação zenital de cada caixa, individualmente. Como sugere a figura.

O gride Adaptive Technologies Group é fixado por duas lingas de corrente de três pernas cada linga, pernas essas que se encontram nos anelões superiores. A partir daí apenas dois cabos de aço mantém toda essa estrutura em equilíbrio e em situação de estabilidade física.

Veja na figura 10.209 uma de nossas instalações que segue esse mesmo princípio. Esse é o caso do ginásio de uma grande escola brasileira que nos contratou para projetar e implementar o sistema de reforço de som para espetáculos musicais para atender até 12 mil pessoas. Esse cluster central de caixas destina-se ao sistema de avisos e chamadas, que é totalmente independente do sistema de reforço.

Creio que a foto permite ter uma ideia das caixas acústicas utilizadas.



figura 10.209 cluster central usando gride de aço inoxidável reforçado de formato circular acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para concluir a parte das caixas acústicas convencionais lanço mão de um exemplo que aplicamos na Catedral de Amparo. Veja na figura 10.210.



figura 10.210 vista das duas caixas acústicas instaladas acima do nível do forro da igreja acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A foto da figura 10.210 mostra duas caixas acústicas, ambas bastante grandes e ambas envolvidas por um colar metálico externo. Além desses colares externos, há também colares internos de reforço, o que foi desenhado para criar uma estrutura metálica e de madeira muito resistente e segura para o rigging. Como essas caixas são Altec Lansing, na ocasião viajei para a Altec e discuti todos os detalhes desses reforços com o Departamento de Engenharia da Altec.

10.6.12.3 Caixas Acústicas Line Array Salvo casos excepcionais, as pilhas line arrays são fixadas através dos respectivos bumpers. Como mostra a figura 10.211.



figura 10.211 pilha de 4 caixas acústicas line array e um subwoofer, suportadas por bumper através de 4 cabos de aço acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 10.212 exibe 4 pilhas de 6 caixas acústicas mais 2 subwoofers cada pilha, sendo que as pilhas são suspensas pelos respectivos bumpers e os 4 bumpers são atrelados a um gride com formato de “X” feito com trusses.

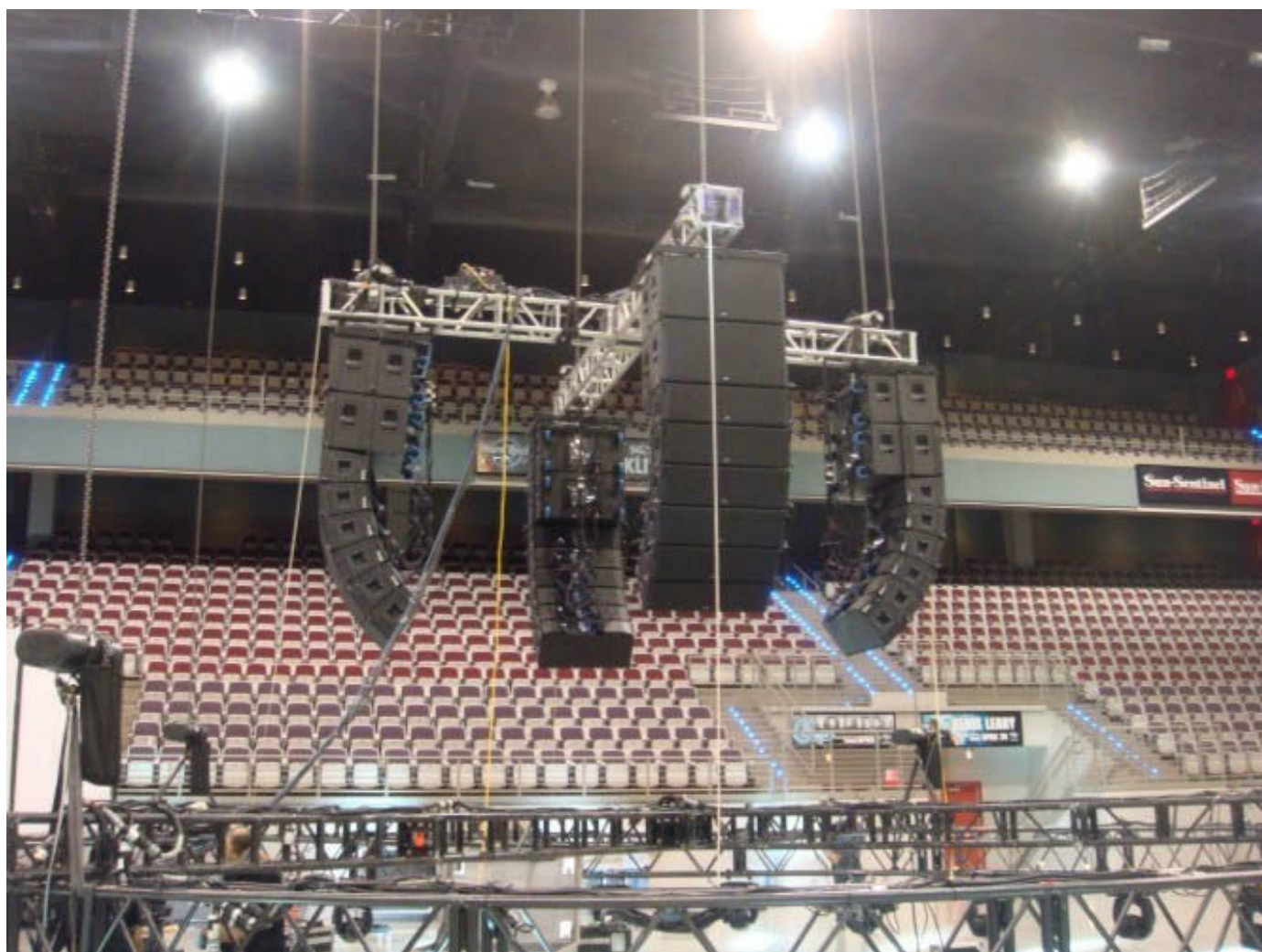


figura 10.212 4 pilhas de 6 caixas acústicas line array + 2 subwoofer, instaladas num gride formado

10.6.12.4 Barra Longitudinal de Ajuste Quando discutimos o içamento de cargas em função do seu centro de gravidade, vimos que sempre que o ponto de ancoragem superior do içamento e o centro da gravidade da carga não estão verticalmente alinhados, ocorre uma rotação da carga até que esses dois pontos fiquem naturalmente alinhados.

Veja então a figura 10.213.

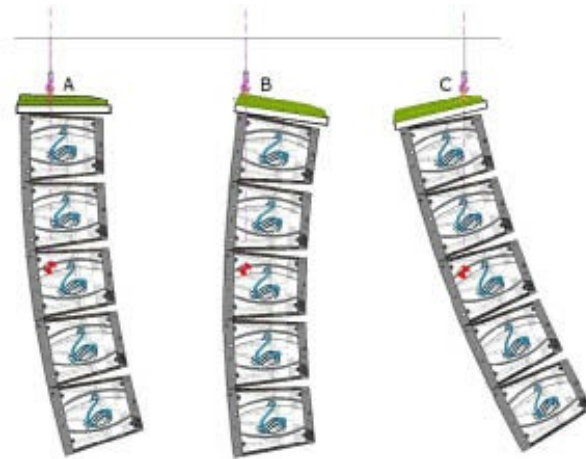


figura 10.213 pilha de 5 caixas acústicas line array suportadas por um bumper e, atrelada a ele, uma barra longitudinal de ajuste acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No desenho “A” o ponto de içamento na barra longitudinal de ajuste corresponde a um furo intermediário da barra, de sorte que a pilha adquire uma certa inclinação. O centro geométrico desse furo intermediário na barra longitudinal e o centro de gravidade da pilha estão na mesma vertical.

Quando se altera o ponto de içamento para um furo mais frontal da barra longitudinal, o alinhamento vertical anterior deixa de existir por força do deslocamento do ponto de içamento. Com isso, a pilha inclina-se com sentido de rotação horário até que o alinhamento seja restabelecido. Isso é o que mostra o desenho “B”.

No desenho “C” o ponto de içamento foi deslocado para um furo localizado na parte posterior da barra longitudinal de ajuste. A perda do alinhamento vertical entre ponto de içamento e centro de gravidade da pilha impõe a rotação da pilha, agora no sentido anti-horário, até que o alinhamento vertical se restabeleça.

Portanto, essas barras são muito utilizadas para possibilitar o ajuste da angulação zenital das pilhas line array e, porque não dizer, de quaisquer clusters de caixas acústicas e mesmo de caixas acústicas individuais.

Afinal, estou me referindo a um conceito físico que pode ser aplicado indistintamente ao que quisermos.



figura 10.214 dois modelos diferentes de barras longitudinais de ajuste fabricadas pela Alcons áudio A figura 10.214 mostra dois modelos de barras longitudinais de ajuste fabricadas

pela alcons áudio.

Vale frisar que essas barras podem ser apenas uma por arranjo, então colocada em sua parte central, mas também podem ser duas colocadas nas laterais esquerda e direita, ou mesmo três ou mais para arranjos muito largos ou pesados.

10.6.13 Suportes Especializados Como era de se esperar, muitos fabricantes que já produziam ferragens de uma certa tecnologia acabaram se interessando em projetar e fabricar componentes metálicos e acessórios que atendessem à demanda crescente de fixar caixas acústicas, cluster e pilhas line array em superfícies verticais e deixa-las penduradas em caráter temporário ou permanente.

Os fabricantes de caixas acústicas em geral também produzem uma excepcional quantidade de ferragem para seus produtos. Muitos oferecem artigos genéricos que podem ser utilizados até em produtos concorrentes.

As figuras 10.215 a 10.220 mostram uma certa variedade desses suportes especializados em determinadas funções. No caso, utilizei exemplos de produtos fabricados pela empresa ATM Fly-Ware. Para mais detalhes sugiro entrar no site correspondente.



figura 10.215 suporte de parede e suporte de teto, ambos para caixas acústicas cortesia ATM Fly-Ware



figura 10.216 suporte de superfície vertical para caixa acústica, uso externo cortesia ATM Fly-Ware



**figura 10.217 suporte pendural fixo à esquerda e suporte pendural com ajuste de azimute à direita
cortesia ATM Fly-Ware**



**figura 10.218 suportes diversos para quantidade de caixas acústicas organizadas horizontalmente em
forma de setor de círculo cortesia ATM Fly-Ware**



**figura 10.219 suporte customizado para cluster projetado para atender uma demanda exclusiva
cortesia ATM Fly-Ware**



figura 10.220 suportes diversos projetados para line arrays posicionadas de forma singular, para um dado ambiente de grande porte cortesia ATM Fly-Ware 10.6.14 Manual x Mecânico 10.6.14.1
Introdução Nas linhas introdutórias ao assunto “rigging” definimos que essa atividade começava com o estudo e a análise da carga a ser movimentada e içada, particularmente seu peso. Neste momento quero chamar sua atenção para o termo “movimentação” da carga.

Evidentemente, para que a carga fique no local exato de onde vai ser içada, terá que ser movimentada. Movimentar a carga usualmente requer seu manuseio no endereço de origem, transporte daí até o endereço de destino e, então, novo manuseio até o almoxarifado e, finalmente, o manuseio final até o local do içamento e instalação.

Por vezes a carga não será estocada no almoxarifado, indo diretamente para o local do içamento. Outras vezes terá que ser manuseada em endereços intermediários entre origem e destino. O que é apenas segue a logística do processo de transporte que envolve grandes distâncias.

Todas essas manipulações e transporte incluem a possibilidade de se ter que conduzir a carga entre um e outro ponto nos sentidos horizontal e vertical.

Portanto, a movimentação da carga não é uma tarefa desprezível. Especialmente diante de cargas difíceis, assim consideradas aquelas muito volumosas e/ou com pesos avantajados. Que, apesar desses predicados, ainda pode ser frágil.

Isto posto creio que fica relativamente fácil entender que as etapas de movimentar e de içar a carga envolvem muitas ações manuais além daquelas mecanizadas.

As notícias diárias veiculadas por distintos órgãos de informação atestam que a mecanização e a robotização estão em franca expansão. Cada vez mais serviços antes executados por seres humanos são substituídos por execuções feitas por máquinas.

Mesmo assim, o próprio içamento de cargas feito com o auxílio de máquinas ainda envolve processos ou partes de processos que exigem a ação de seres humanos.

Nas linhas que seguem vamos tratar da segurança das ações mecânicas e manuais necessárias para o içamento e para a movimentação de cargas.

Antes de passar aos tópicos propriamente ditos faço questão de relacionar a legislação vigente aplicável a eles: NR 11 – Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais ABNT NBR 5418 – Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas ABNT NBR 6327 – Cabo de Aço para Uso Geral / Requisitos Mínimos ABNT NBR 7500 – Identificação para Transporte Terrestre, Manuseio, Movimentação e Armazenamento de Produtos ABNT NBR 9518 – Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas ABNT NBR 11900 – Extremidades de laços de Cabos de Aço ABNT NBR 13541 – Movimentação de Carga / Laço de Cabo de Aço / Especificação ABNT NBR 13542 – Movimentação de Carga/Movimentação de Carga/ Anel de Carga ABNT NBR 13543 – Movimentação de Carga/Laços de Cabos de Aço/Utilização e Inspeção ABNT NBR 13544 – Movimentação de Carga/Sapatilho para Cabo de Aço ABNT NBR 13545 – Movimentação de Carga/Manilhas CLT – Consolidação das Leis do Trabalho, capítulo V, título II – Segurança e Medicina do Trabalho Convenção OIT # 127 – Peso Máximo das Cargas que Podem Ser Transportadas por um só Trabalhador Portaria TEM/GM # 86 – Aprova Texto da NR 31, Referente à Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Equicultura Portaria TEM/SIT/DSST # 56 – Aprova e Inclui na NR 11 o Regulamento Técnico de Procedimentos para Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Chapas de Mármore, Granito e Outras Rochas Resolução ANTT # 420 – Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos Caro leitor, recomendo que você procure toda essa documentação e que a leia atentamente. Então, terá uma ideia bem ampla do que muitos especialistas resumem para evitar problemas e acidentes, racionalizando uma atividade que é intrinsecamente difícil e delicada a um só tempo.

10.6.14.2 Içamento e Movimentação Mecânica operadores e credenciamento Içamento e movimentações mecânicas são atividades que envolvem riscos elevados, inclusive de perda de vidas humanas.

Uma das coisas que se pode fazer no sentido de evitar acidentes é não permitir que operadores de máquinas, desde as mais simples até as mais complexas, trabalhem sem o devido treinamento e credenciamento por quem de direito. Isso absolutamente não pode ser algo proforma, a exemplo de títulos obtidos por entidades não habilitadas para conceder o devido treinamento. Ou, de outro modo, que o operador tenha treinamento numa atividade que não seja exatamente a mesma que vai executar.

Idealmente, além de todo o treinamento de caráter geral, o operador deve estar habilitado a

operar com a máquina disponível para a atividade em curso, o que significa ser treinado pelo fabricante e/ou representante no Brasil para casos de implementos importados.

presença de engenheiro especializado para assumir a responsabilidade pelo trabalho
Pelo que vimos no tópico imediatamente acima, o rigging demanda de forma natural a supervisão de um especialista. Que é o engenheiro especializado em rigging, para tanto devidamente credenciado.

Assim sendo esse profissional tem condições de assumir a responsabilidade por todos os procedimentos do rigging. O que também significa que todas as suas instruções devem ser obedecidas sem vacilo.

Se você entender que há instruções que contrariam suas convicções, pare a atividade para esclarecer todos os pontos de “conflito”. Eventualmente será preciso contar com uma segunda opinião, também profissional, que virá na forma de mediação.

A responsabilidade pelo rigging deve constar de contrato firmado com o profissional selecionado.

caixas acústicas

Caixas acústicas destinada a içamento devem ter sido projetadas e fabricadas para atender os esforços envolvidos. Não caia na tentação de adquirir caixas acústicas de custo muito reduzido, que carecem de pontos de ancoragem e, depois, aplicar acessórios de ancoragem de qualquer modo. Isso é o prenúncio do desastre.

Creio que tudo isso soa um tanto ou quanto óbvio. Entretanto, muitos acidentes têm resultado de suspender caixas acústicas não adequadas para essa finalidade.

Se você fizer uma pequena pesquisa de preços poderá constar que um mesmo tipo de caixa acústica, digamos uma de 3 vias com woofer de 15 polegadas, têm preço variável de um valor realmente muito reduzido, mas podendo chegar a cifras vultuosas. Claro que essas coisas se explicam. As caixas com diversos pontos de ancoragem são de fabricação muito mais complexa do que caixas para uso em palco. As primeiras também utilizam muito mais material e exigem engenharia esmerada além de testes e mais testes. Nem preciso continuar, certo?

Quando se pretende utilizar caixas acústicas para içamento, é preciso ter certeza que elas atenderão a demanda. Para não ficar na dúvida, consulte as especificações técnicas geradas pelo fabricante. Se nada constar, faça perguntas por escrito. Use e-mail ou correspondência regular. Se ainda ficar com a dúvida ou não obtiver resposta, mude de fabricante.

Se você estiver seguindo um projeto e desconfiar que a caixa especificada não atende no aspecto segurança, não prossiga. Nem que o cliente ou o projetista assumam o risco, por escrito.

Esses cuidados aplicam-se a caixas acústicas e a quaisquer outros itens que tenham que

trabalhar elevados do piso. Quer de forma temporária, quer de forma permanente.

peso e CG da carga

Já vimos antes as questões relacionadas com peso e com o Centro de Gravidade da carga. Nem sempre isso pode ser feito com facilidade em campo, na obra. Em geral nem é possível fazer as medições correspondentes.

Eis aí um bom motivo para que você obtenha essas informações antes que os equipamentos tenham que ser instalados em campo. Todos os fabricantes possuem esses dados de seus produtos. O que ocorrer é que o projetista tenha arranjado os falantes de modo que o fabricante não consiga chegar aos resultados.

Entretanto, muitos fabricantes possuem programas que não só permitem estabelecer pesos e Centros de Gravidade, como também facilitam muito selecionar e elaborar a geometria de bumpers e grides. Exemplos disso são o JBL LAC II da Harman e o LAPS V2 da Bosch ElectroVoice.

Esses são programas muito simples, baseados em planilhas Excel, que se pode baixar diretamente dos sites respectivos para uso com os produtos dos correspondentes produtos. Entretanto, mesmo para outros produtos é possível usar os programas para se ter aproximações.

preparo do local

Preparar o local significa inicialmente definir toda uma área em torno do local onde a carga vai ser içada, constituindo assim uma região delimitada, que será o alvo de cuidados especiais que deverão ser tomados antes do içamento da carga. Essa área é usualmente denominada área de risco.

Uma vez definida a área de risco, o responsável pelo rigging deve verificar se dispões de todos os caibros e cunhas eventualmente necessários para travar a carga em seu local e impedir que ela escorregue.

O segundo cuidado a ser tomado pelo responsável pelo rigging é solicitar a um especialista que, seguindo um “check list”, verifique todos os elementos de içamento quanto à sua integridade física e arranjos para aquela particular tarefa.

O terceiro cuidado a ser tomado pelo responsável é avaliar se a operação pode ser feita normalmente ou é mais seguro interditar a área de risco com a finalidade de evitar acidentes.

O quarto cuidado consiste em determinar se será necessária alguma forma de sinalização para operadores. Veremos adiante a sinalização empregada em rigging e o significado de cada gesto. Em caso de haver essa necessidade o responsável deve providenciá-la, o que inclui a presença de profissionais que entendam a comunicação codificada e que permaneçam nos locais definidos pelo responsável.

O quinto cuidado tem a ver com o local em si. A incidência de ventos tende a deslocar a carga de sua linha de subida, alterando o alinhamento vertical que deve existir entre ponto de ancoragem superior e CG da carga. Como essa é uma situação potencialmente perigosa, o responsável pelo rigging deve decidir se é melhor esperar para fazer o içamento em condições mais favoráveis ou se é razoável apenas propor ações para compensar o efeito do vento. Nesses casos, a ação mais comum é utilizar um, dois ou mais cabos guias de condução para que operadores trabalhando no piso mantenham a carga em sua posição manobrando esses cabos. Os cabos são amarrados na carga e devem ter comprimento suficiente para possibilitar a manobrabilidade e a condução a partir do piso com a carga em quaisquer alturas possíveis. Essa medida é sempre uma alternativa válida para quaisquer cargas fisicamente assimétricas.

O sexto cuidado a ser tomado pelo responsável pelo rigging é verificar que todos os operadores e participantes do processo estão devidamente capacitados e habilitados para as missões que terão pela frente e, ainda, que estejam usando todo o EPI (Equipamento de Proteção Individual) exigido.

O sétimo e último cuidado é verificar se todas as posturas legais, regulamentares e normativas estão sendo obedecidas. Caso contrário o rigging deverá ser prorrogado até que cada lei, regulamento, norma ou prática diretiva seja integralmente observado e cumprido.

interditar a área de içamento Mencionei anteriormente a interdição da área de risco, tarefa que cabe ao responsável pelo rigging.

Entretanto, a ele cabe a decisão. Geralmente a interdição física compete ao cliente, que deve então seguir a orientação do responsável pelo rigging.

A interdição pode envolver alguma logística, especialmente se área de risco fica situada numa área de passagem, acesso, *etc.* Nesses casos é sempre possível ajustar – com a antecedência necessária – data e horário que seja melhor para todos os envolvidos e para o cliente.

A interdição deve ser feita com aviso prévio para todos os interessados de modo a evitar surpresas e problemas daí decorrentes.

Toda a sinalização necessária deve ser empregada durante o período em que a interdição estiver valendo.

ganchos sobre os CG

O cuidado final antes do içamento é a verificação de que todos os ganchos de içamento estão alinhados verticalmente com o Centro de Gravidade da carga.

sair da área de risco

Antes do içamento ser feito é preciso que todo e qualquer indivíduo estranho ao rigging em curso deixe a área de risco. Avisos nesse sentido podem ser espalhados pela área de forma a facilitar qualquer ação necessária nesse sentido.

O responsável pelo rigging pode exigir que mesmo operadores devidamente credenciados saiam da área de risco. Isso pode ocorrer se os riscos são julgados muito elevados. Nesses casos a comunicação se dá principalmente através de sinalização.

laudo de que as estruturas estão aptas a suportar o peso da carga O pressuposto é que o rigging só seja autorizado, bem como todas as providências que o antecedem, se houver laudo técnico assinado por profissional para tanto habilitado assegurando que as estruturas que vão suportar a carga podem fazê-lo sem quaisquer riscos estruturais, mecânicos e/ou outros.

É imperativo que tal laudo se faça acompanhar pela correspondente ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) obtida junto ao CREA da região em questão.

O laudo técnico em questão pressupõe uma ou mais visitas técnicas ao local que devem ser feitas pelo profissional especializado que vai assinar o laudo e a ART.

10.6.14.3 Içamento e Movimentação Manual EPI

Favor reportar ao item 10.6.15.2 que entra em todos os detalhes dos EPI recomendáveis para casos de rigging aplicados a sistemas profissionais de áudio.

capacidade individual do ser humano A maioria das normas vigentes e leis aplicáveis estabelece limites claros que o ser humano pode levantar em condições ideais. A tabela 10.33 resume esses limites.

tabela 10.33

LIMITE PARA LEVANTAMENTO DE PESO		
IDADE	HOMEM	MULHER
abaixo de 16 anos	proibido	
16 a 18 anos	16 kg	8 kg
acima de 18 anos	40 kg	20 kg

É evidente que tabelas como essas apenas dão uma ideia geral do que podem ser esses limites. Por exemplo, as companhias aéreas estabelecem limites de peso para as malas que são

transportadas. Essa limitação não está relacionada com o peso total a que tem direito cada passageiro, mas com o respeito aos profissionais que manuseiam as bagagens. Em muitos desses casos o limite por mala é de 32 kg.

Além disso, pense em dois indivíduos geneticamente muito diferentes. Um deles é de baixa estatura e franzino. O outro é sarado, do tipo que frequenta academia todos os dias da semana. Será que ambos estão igualmente aptos para levantar o mesmo peso? Claro que não. O que significa que há outros elementos em jogo, como a capacidade individual de cada um, o estado atlético do profissional e outros.

cuidados com a coluna

Os problemas de saúde resultantes das atividades de instalação em campo, as quais envolvem força muscular, são de natureza variada. A grande incidência ainda é, estatisticamente, na coluna. São dores lombares e, em casos extremos, lombalgias e escolioses de graus variados.

Estudos mostram claramente que uma parte significativa desses males ocorre por falta de exercícios adequados. Portanto, esta é mais uma razão para que os integradores de AV contratem empresas especializadas e não suas equipes de instalação, em geral despreparadas para essas atividades e, como regra, compostas por profissionais que não fazem exercícios regulares para a coluna.

Os problemas de coluna também se relacionam de perto com o levantamento de cargas do piso, como caixas, caixotes, pilhas de livros e outros. Eis porque discutimos adiante as questões de “como levantar peso” e de “postura”.

Importante ressaltar que dores de coluna usualmente não estão relacionados com lesões pré existentes nem com acidentes. Ao contrário, essas dores quase que invariavelmente decorrem de uma ou mais entre as seguintes causas: • estresse produzido pela atribuição típica de nossos dias • hábitos que produzem efeitos concentrados em certas regiões das costas • problemas de biomecânica • má postura

• queda natural de tônus muscular como função do envelhecimento natural • falta de flexibilidade por ausência de exercícios físicos e de simples alongamentos • má forma física com músculos pouco exercitados • regra 2 – não podem ser computados como “créditos” diferenças resultantes de valores medidos que se situam acima do contorno STC padrão Veja o que os especialistas recomendam para que conservemos a saúde de nossas colunas.

Inicialmente, saiba que sua coluna é formada por 24 vértebras, sendo 7 cervicais, as que suportam a cabeça, 12 torácicas, as maiores e que suportam o peso do peito e dos braços, e as 5 lombares, que são as de maior espessura e também as mais fortes, cuja missão é suportar o peso de todo o corpo humano. Essas 24 vértebras foram a parte flexível da coluna. Além disso todos nós temos cinco vértebras integradas que ficam no sacro e mais 4 pequenas vértebras, também integradas, que ficam no cóccix. Todas essas vértebras integradas não conferem flexibilidade à coluna.

Ora, se as 5 vértebras lombares suportam o peso de todo o corpo humano elas estão sujeitas a um trabalho bem mais árduo do que as demais vértebras. Por essa razão estão mais propensas a dores e outros problemas do que as demais vértebras.

As recomendações para manter a saúde em alta: • Procure adotar hábitos de postura sadios.

Como? Mantendo a curvatura natural das costas. Isso proverá força adequada e o suporte necessário para suas atividades. Tal medida se aplica incondicionalmente. Mas particularmente quando a atividade exige esforços incomuns, como durante levantamento de pesos, ou quando permanecemos sentado ou em pé por períodos muito prolongados. Por exemplo, quando estamos na poltrona de um avião num voo internacional de muitas horas • Mantenha seu peso dentro de parâmetros considerados normais. Uma das maneiras de determinar o peso ideal é dividindo seu peso atual, em quilos, pelo quadrado de sua altura. O resultado será o IMC (Índice de Massa Corporal). Veja os critérios na tabela 10.34.

tabela 10.34

IMC	Critério
inferior a 18,5	abaixo do peso ideal
18,5 – 24,9	peso ideal
25,0 – 29,9	sobrepeso
30,0 – 34,9	obesidade grau I
35,0 – 39,9	obesidade grau II
40,0 ou mais	obesidade grau III

Vamos a um exemplo? Chico pesava 66,0 kg e tinha 1,69 metros de altura. A conta:

$$IMC = \frac{66,0}{(1,69)^2} = 23,11$$

Portanto, Chico está no peso ideal.

- Mantenha suas costas fortes, fazendo exercícios específicos para a coluna. Para informações adicionais recomendo o site www.minhavidacombr.com.br. Mas é imprescindível que você consulte o seu médico para orientações específicas, levando em conta seu organismo.
- Melhore sua flexibilidade geral. Estar com tendões flexíveis ajuda a reduzir dores e desconforto nas costas. Aqui o melhor é fazer exercícios de alongamento e/ou a prática de yoga.
- Siga um programa regular de exercícios físicos. Contudo, mais uma vez, é fundamental consultar o seu médico para orientações profissionais. Jamais comece a se exercitar por conta própria. Isso tem tudo a ver com seus hábitos de vida, com sua alimentação, com a sua rotina de trabalho e com costumes físicos em geral. O médico saberá levar em conta os aspectos cardíacos, pulmonares e musculares, além de seu condicionamento físico atual.

como levantar pesos

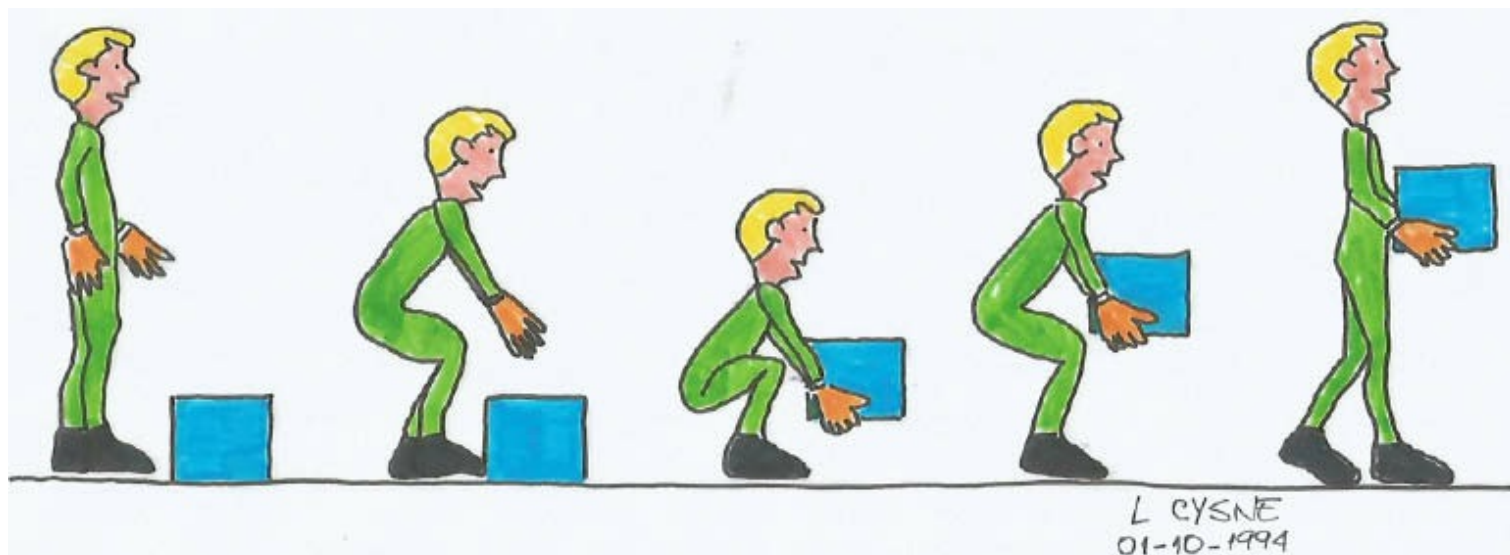


figura 10.221 sequência para o levantamento de carga do piso acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
A figura 10.221 exhibe a sequência lógica de como proceder para levantar corretamente uma carga do piso.

Para levantar o peso do chão sem prejudicar a coluna ou sua saúde, o indivíduo vai agachando enquanto mantém as costas bem alinhadas, sem curvar a espinha, bastando para isso que dobre os joelhos e deixe os braços bem juntinhos do corpo. Então, uma vez que o objeto a ser levantado foi bem seguro pelas mãos, impulsiona-se o corpo para cima estendendo os joelhos, tomando todo o cuidado para manter as costas alinhadas e a coluna dorsal com sua curvatura natural.

Caso o objeto seja muito pesado para você, procure ajuda de alguém com mais capacidade física para realizar a tarefa. Nunca se acanhe para pedir essa ajuda. Sua coluna agradecerá. Em último caso, por exemplo se não houver ninguém por perto, tente fazer o içamento por fases. Mas jamais dobre o corpo para chegar até a carga.

Importantíssimo lembrar que a carga deve ser mantida junto ao corpo durante todo o tempo.

Vimos antes que todos nós temos limites para o levantamento de cargas pesadas. Vimos também que há alguns fatores em jogo que individualizam esses limites. A exemplo da genética de cada um, do tamanho dos braços do indivíduo e da quantidade de fibras musculares que estarão à disposição de cada um para a realização do trabalho.

Muitos ortopedistas falam que podemos levantar o limite de 50% de nosso próprio peso. Então, se você pesa 70,0 kg seu limite seria 35 kg.

A CLT – Consolidação das Leis do Trabalho estabelece que o trabalhador brasileiro pode içar e carregar cargas até o limite de 60 kg! Vai ver que o consultor contratado para elaborar essa lei foi o Hulk. Mas temos que dar o devido desconto porque a CLT é de 1º de maio de 1943.

Entretanto, nossa ABNT, nem o querido Inmetro estabelecem limites para içar e carregar pesos. Esses órgãos informam que estabelecer esses limites é tarefa para as comissões internas

de prevenção de acidentes de trabalho das empresas.

Ora, não creio que a esmagadora maioria dos integradores de som no Brasil possua tais comissões.

Assim sendo, permito-me fazer referência ao NIOSH – o National Institute for Occupational Safety and Health, agência federal norte-americana responsável pela realização de estudos e pesquisas com a finalidade de propor recomendações capazes de prevenir lesões e doenças ocupacionais, assim entendidas aquelas relacionadas com as atividades dos trabalhadores.

Pois é. O NIOSH fixa em 25 kg o limite máximo de peso que pode ser içado e carregado por qualquer ser humano em suas atividades de trabalho.

Esse é o limite máximo que recomendo, lembrando que, se você é da turma que não pratica exercícios físicos, e nem tem o corpo tão avantajado, esse limite provavelmente será muito para você. Nesse caso, não force a barra. Sua coluna pode sofrer as consequências.

postura

O termo postura refere-se ao comportamento natural do ser humano de estabelecer o equilíbrio de seu próprio corpo em função da ação da gravidade e de outras forças externas que podem entrar em jogo. Isso aplica-se para quando estamos sentados, deitados ou em pé. Os médicos nos informam que postura é a resposta neuromecânica que estabiliza o sistema muscuesquelético.

Vejamos então a postura de alguém em pé. A ilustração está na figura 10.222.

O desenho A representa a postura ideal para quem está em pé.

A cabeça fica bem acima do peito, no mesmo alinhamento vertical que as ancas e que os pés. O peito fica elevado e ligeiramente proeminente. O abdômen fica moderadamente retraído e plano. As costas têm curvatura natural.

O desenho B exibe uma postura aceitável, mas que já se afasta da ideal.

A cabeça está algo para a frente. O peito mostra uma pequena flacidez porquanto o abdômen já não se apresenta tão plano quanto em “A”. As costas agora exibem uma curvatura que já não é mais a natural.

O desenho C mostra uma postura algo despojada.

A cabeça está à frente do peito. Este mostra-se plano mas com inclinação exagerada. O abdômen está proeminente e a região lombar mostra claramente uma reentrância de todo indesejável.

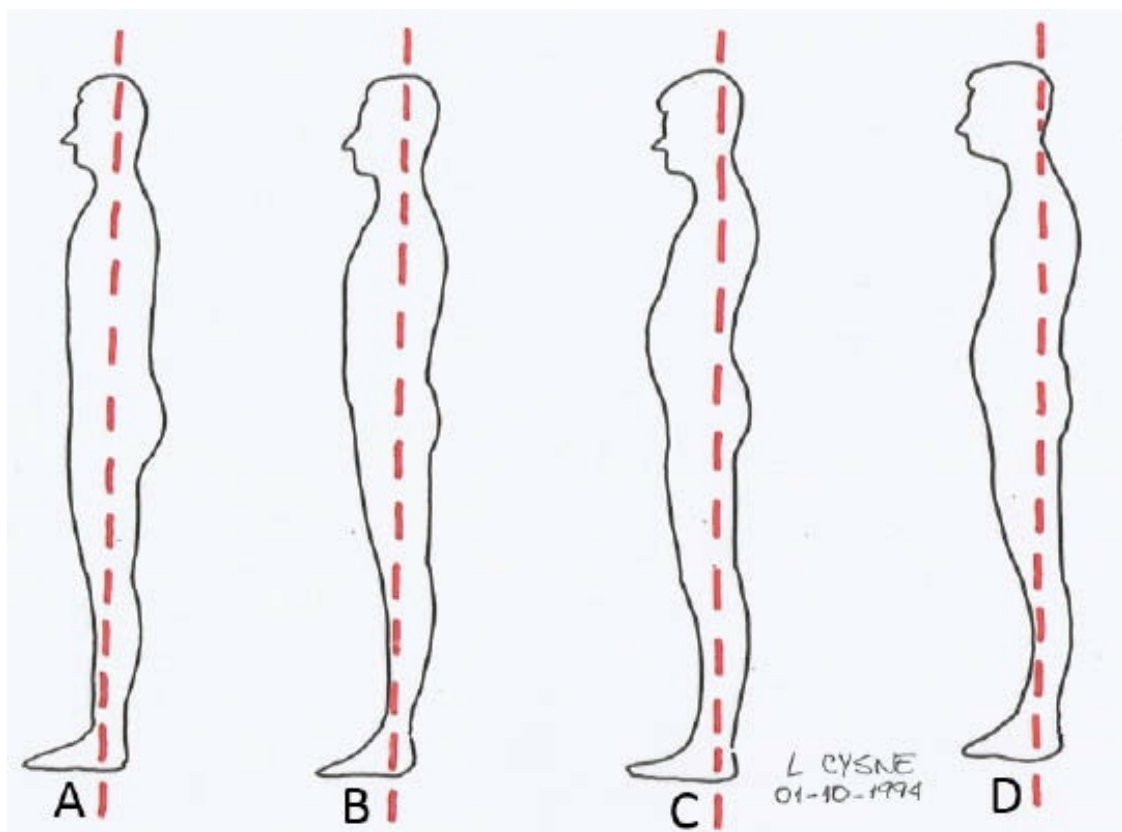


figura 10.222 postura de ser humano em pé acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O desenho D exibe uma postura muito ruim.

A cabeça está bem à frente do peito, que aparece mal colocado e com uma forte reentrância

no sentido do estômago. O abdômen apresenta-se solto, caído e relaxado. A curvatura das costas é exagerada e inaceitável.

Vejam agora a postura de um ser humano sentado. A figura é a 10.223.

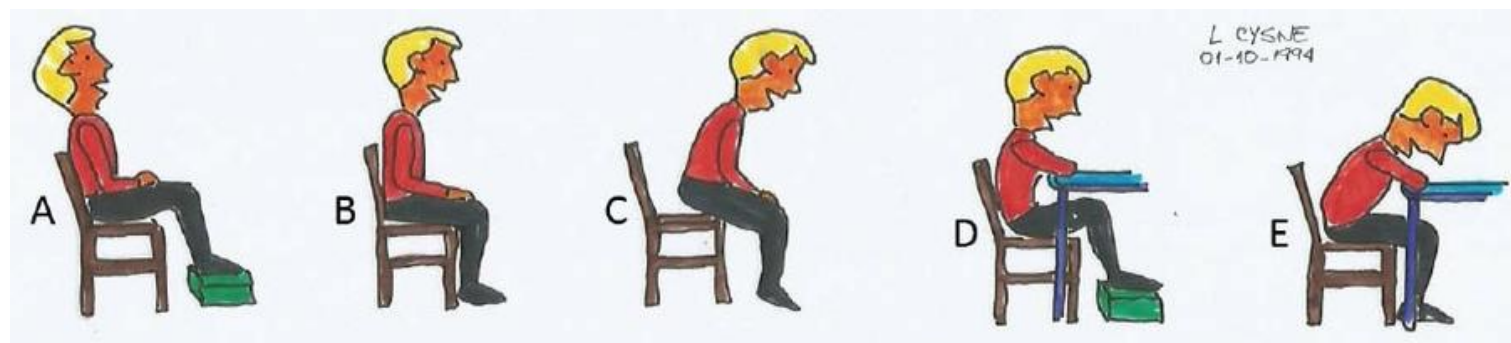


figura 10.223 postura de ser humano sentado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O desenho A mostra uma boa postura para quem está sentado. Note que o joelho fica ligeiramente levantado por força do indivíduo pisar numa banqueta. A postura do desenho B não é boa. Menos ainda é a do desenho C. A postura indicada no desenho D é boa em função do uso da banqueta e porque os braços apoiados aliviam muito a pressão exercida na coluna dorsal. A postura do desenho E é ruim. Até porque com o corpo pendente para a frente a região mediana dos discos intervertebrais, denominadas núcleo, são pressionadas para trás, o que produz forças que enfraquecem as partes mais externas dos discos. Como resultado, eles ficam propensos a sofrer pequenas fissuras. Outras possibilidades de danos provocados à saúde são as famosas hérnias de disco, que podem gerar pinçamentos de nervos, a exemplo do ciático, que infligem dores terríveis.

Quando sentamos sem observar a postura correta, nossas costas é que acabam pagando o pato.

A primeira cobrança vem na forma de um aumento de pressão que agride nossos discos intervertebrais. Estes são cartilagens cuja função é amortecer os impactos diretos que ocorreriam sobre as vértebras. Ao mesmo tempo eles reduzem ou eliminam atritos entre as vértebras.

Quando ficam submetidos a pressões muito elevadas, especialmente por períodos prolongados, os discos intervertebrais acabam sendo paulatinamente danificados. Como consequência, suas funções são mais e mais comprometidas.

Para que se tenha uma ideia do quanto o ato de alguém sentar com postura incorreta afeta a espinha, basta mencionar que saindo da posição ereta para a posição sentada, isso com postura correta, aumenta a pressão sobre os discos intervertebrais em algo próximo de 40%. Entretanto, se a postura for errada, o incremento de pressão é substancialmente superior.

Veja isso na figura 10.224 que é a figura 10.223 com a indicação adicional da pressão exercida sobre os discos intervertebrais como função da angulação resultante entre tronco e coxas. Perceba que quanto mais agudo é esse ângulo maior é a pressão exercida sobre os discos intervertebrais.

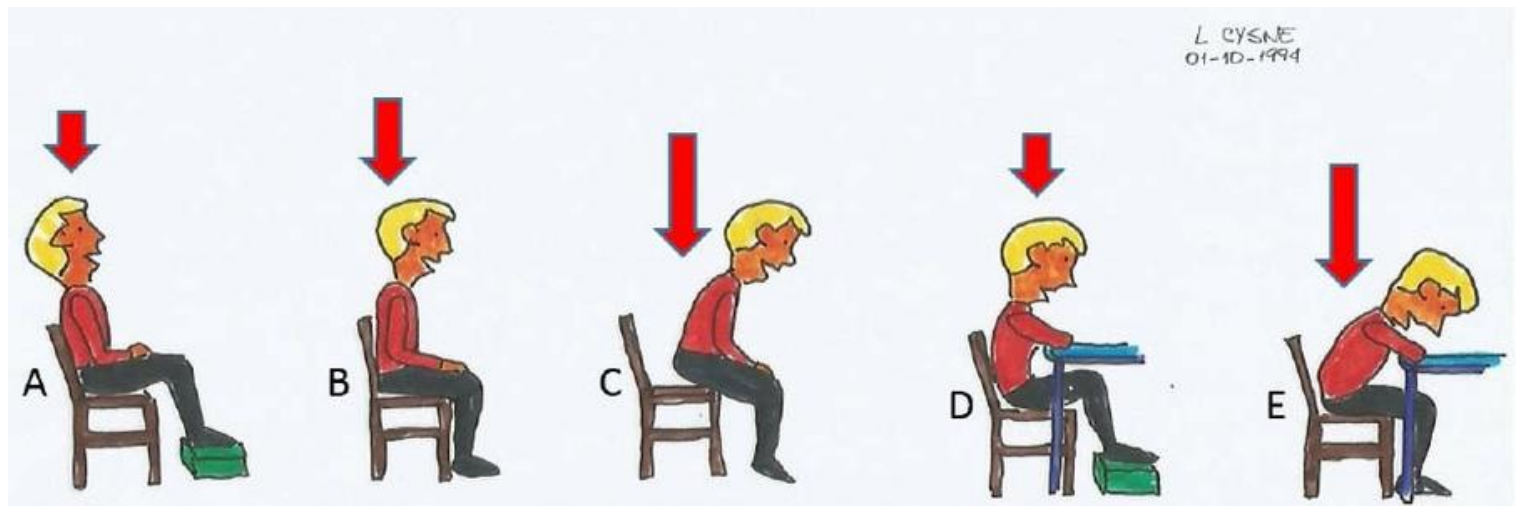


figura 10.224 postura de ser humano sentado e pressões exercidas sobre a coluna dorsal acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As posturas C e E são as que produzem mais pressão sobre os discos intervertebrais.

Essa pressão é cerca de 30% superior à pressão que resulta da postura B. Note que a menor pressão é aquela que decorre da postura representada no desenho A.

Se você tem problemas de dores nas costas, na região lombar, ou diretamente na coluna dorsal, vale a pena experimentar a postura “A” da próxima vez que tiver que ficar sentado por um bom tempo.

Outra coisa que facilita muito o conforto de nossas costas é observar todas as regras ergonômicas ao trabalharmos com computadores. Não será nada difícil encontrar muitas informações sérias sobre isso na Internet. Recomendo.

Finalmente, muitos problemas podem ser evitados se mudarmos constante de posição. Eis porque temos que evitar ficar em pé por períodos muito prolongados. O mesmo valendo para a posição sentada. Idealmente variamos de uma posição para outra com frequência que seu corpo acabará determinando.

regras gerais para preservação da saúde Além dos cuidados já mencionados para a preservação da saúde da coluna e a manutenção de postura física recomendada pelos especialistas, as seguintes regras podem ser alinhadas:

- não fazer movimentos bruscos que possam afetar a coluna
- cuidar do peso mantendo o IMC dentro dos limites saudáveis
- procure evitar dobrar o corpo e torcê-lo ao mesmo tempo respeite os limites de seu corpo
- evite ações mecânicas muito repetitivas sem intervalos de descanso
- alimente-se adequadamente
- beba bastante água

- procure evitar o estresse
- descanse quando necessário
- reserve um tempo para o seu lazer e entretenimento
- mantenha sua autoestima sempre em alta
- use protetor solar, especialmente quando estiver trabalhando em ambientes externos
- evite o álcool e se for fumante, faça o que for preciso para parar

10.6.15 Recomendações Gerais para um Rigging Seguro

10.6.15.1 Boas Práticas de Engenharia empresa especializada em içamento e descida de cargas Já mencionei a necessidade imperiosa da presença de

empresa especializada no içamento e na descida de cargas todas as vezes que a instaladora do sistema profissional de áudio estiver em vias de realizar essas atividades.

A rigor, a empresa especializada escolhida deve participar de todo o processo, desde o momento em que se identifica a necessidade.

Muitas vezes, a proposta comercial elaborada pela integradora e entregue ao cliente precisa estar lastreada na opinião técnica de uma dessas empresas especializadas. Até porque essas empresas irão considerar os diversos aspectos da questão, ajudando a integradora a oferecer um pano de fundo muito próximo do que será a realidade.

Além disso, as empresas especializadas dispõem não só de um acúmulo de conhecimentos específicos incomuns entre os integradores de som, mas também todos os recursos materiais de que é preciso dispor para a maioria dessas atividades.

Toda essa retaguarda inspira muita confiança para a empresa instaladora, o que refletindo inexoravelmente para o cliente.

Alguns argumentam que tais procedimentos são um tanto ou quanto sofisticados e acabam aumentando os custos dos serviços de instalação. Posso lhes assegurar que é precisamente o contrário. A contratação de uma empresa especializada resulta em grande racionalização dos serviços e na concatenação lógica das atividades. Por isso o tempo de instalação é reduzido ao mínimo possível. O que se traduz em redução de custos. Geralmente numa escala de grandeza superior ao investimento feito com a contratação da empresa especializada.

De quebra, a empresa instaladora obtém segurança profissional nos resultados e um desenvolvimento das atividades conduzido por peritos e especialistas.

Ou seja, todas as etapas acabam sendo impregnadas de critérios e idoneidade profissional. Sempre vale a pena.

segurança do trabalho e engenharia A segurança do trabalho é algo que já se disseminou entre nós. Uma entidade definida e regulamentada por leis específicas.

O termo simplório “segurança do trabalho” é na verdade uma mescla de disciplinas, entre as quais estão a Segurança Funcional, a Higiene Funcional, a Medicina do Trabalho, a Prevenção e o Controle de Riscos em Máquinas, Equipamentos e Instalações, a Psicologia da Engenharia de Segurança, Metodologias de Atividades, Legislação Aplicável, Normas Técnicas e outras Regulamentações, Responsabilidades Cíveis e Criminais, Perícias, Proteção do Meio Ambiente, Iluminação, Ergonomia, Proteções contra Incêndios e Explosões e, finalmente, Gestão de Riscos.

Portanto, equipes de segurança do trabalho incluem profissionais de áreas diferentes, além das CIPAs, as Comissões Internas de Prevenção de Acidentes.

Casos a empresa instaladora do sistema profissional de áudio não tenha em seus quadros

um engenheiro de segurança do trabalho, é de todo recomendável que, diante de uma obra incluindo rigging, contrate um desses profissionais em caráter temporário para acompanhar e conduzir em campo todas as tarefas direta ou indiretamente relacionadas com segurança.

Muitos clientes de grande porte, especialmente construtoras, dispõem de dispositivos muito rigorosos de segurança. Nesses casos é sempre recomendável que a empresa instaladora e o cliente ajustem uma data para que o cliente faça uma preleção a todos os instaladores da integradora de som, visando esclarecer todas as regras e procedimentos de segurança daquela obra em particular.

Depois disso, a questão de segurança passa a ser tratada em parceria, por exemplo com a empresa instaladora solicitando ao cliente eventuais interdições de áreas de risco, o que pode ser facilmente programado como necessário.

Em geral há fiscalização quanto à observação das normas de segurança por parte do cliente e por vezes por parte de órgãos governamentais. Algumas transgressões ficam muito evidentes, como por exemplo a falta de uso de EPI. Por isso mesmo é de importância absoluta seguir na íntegra todas as regras e normas de segurança.

10.6.15.2 EPI (Equipamento de Proteção Individual) cinto de segurança

Instalações de sistemas profissionais de áudio requerem, com bastante frequência, a execução de trabalhos em alturas consideráveis.

E preciso considerar que, em todo o mundo, essa é uma das principais causas de acidentes de trabalho.

As normas regulamentadoras NR-18 e NR-18 do Ministério do Trabalho e Emprego estabelecem que trabalho em alturas iguais ou superiores a 2,0 metros obriga a usar EPI, com ênfase para o cinto de segurança. Essas normas também determinam os requisitos mínimos de desempenho dos cintos de segurança, assim como suas características obrigatórias e outras, desejáveis.

Além da segurança, que é o objetivo principal, os cintos de segurança devem oferecer conforto ao usuário. Motivo suficiente o bastante para que os cintos de segurança sejam desenvolvidos à luz de requisitos e critérios de ergonomia.

Já que os cintos de segurança ocupam nítido local de destaque entre todos os EPI, uma vez que estão diretamente relacionados com o salvamento de vidas humanas quando o trabalho em alturas.

Por isso mesmo qualquer cinto de segurança deve ser de qualidade indiscutível e contar, obrigatoriamente, com a aprovação do INMETRO.

Há vários tipos de cintos de segurança do gênero paraquedista, cada qual mais adequado

para uma particular aplicação. Os principais tipos são: paraquedista com 4 pontos de ancoragem, paraquedista com fixação peitoral, abdominal, dorsal e lateral, paraquedista com fixação peitoral e dorsal, paraquedista com 3 pontos de ancoragem e paraquedista com fixação dorsal.

O tipo paraquedista com 4 pontos de ancoragem, quando confeccionado com cintas de poliéster, é indicado para deslocamento seguro em locais elevados, além de posicionamento, prevenção e parada de queda. Quando confeccionado com outros materiais resistentes é indicado para ambientes confinados.

O tipo de segurança paraquedista com fixação peitoral, abdominal, dorsal e lateral é usualmente recomendado para a execução de trabalhos em locais elevados caracterizados por períodos prolongados de atividade.

O cinto de segurança tipo paraquedista com fixação peitoral e dorsal é considerado ideal para o deslocamento, a prevenção e a parada de queda.

O cinto de segurança tipo paraquedista com fixação dorsal é recomendado para a prevenção corriqueira e a parada de queda.

capacetes de segurança

Os capacetes de segurança ajudam a reduzir os riscos de ocorrência de acidentes capazes de provocar ferimentos e até óbitos nos usuários. Principalmente os resultantes de impactos de quedas de objetos em geral, os de choques mecânicos produzidos por batidas da cabeça em peças fixas de quaisquer naturezas, os produzidos por choques elétricos e os efeitos que decorrem de vazamentos e respingos, especialmente se esses líquidos contiverem agentes químicos tóxicos ou que produzam queimaduras.

Os capacetes de proteção são formados pelo casco, pela armação e pela jugular.

Casco é a peça visível em forma de semi esfera, geralmente fabricada em polietileno de alta densidade ou ABS especial, muito resistente. O casco pode não conter nenhuma aba, pode conter aba frontal ou pode ter uma aba que se espraia por todo o perímetro inferior do casco.

A armação, cuja função é amortecer a energia em caso de impactos e de pancadas, fica entre a parte interna do casco e o couro cabeludo. Sua parte superior é uma carneira plástica semi elástica que é presa por uma coroa circular. Esta é a peça que realmente faz contato com a cabeça do usuário.

A jugular é uma alça simples que passa por baixo do queixo do usuário e sua função é manter o capacete fixado na cabeça.

Os capacetes recomendados para instaladores de sistemas profissionais de áudio são os que oferecem ampla proteção contra choques elétricos.

Muitos capacetes são fornecidos com itens opcionais, como protetores auditivos, lâminas

para proteção mecânica facial e outros. Nesses casos, esses acessórios são fixados na base do capacete.

Os capacetes de segurança são classe A ou classe B. Os da classe A são de uso geral e não devem ser utilizados em trabalhos que envolvam energia elétrica. Precisamente o caso de sistemas profissionais de áudio. Os da classe B são os que possuem isolamento elétrico. A norma regulamentadora NR 6 segmenta os capacetes em produtos contra impactos mecânicos, contra choques elétricos e, finalmente, contra riscos provenientes do calor.

Qualquer capacete a ser utilizado em instalações de sistemas profissionais de áudio deve ter sido aprovado pelo INMETRO e conter o selo respectivo dessa aprovação.

Os capacetes costumam ser utilizados de acordo com um código de cores, que não é padronizado e pode ser modificado sem problemas por qualquer empresa que assim o desejar.

Esse código está baseado num critério hierárquico, que usualmente segue os seguintes preceitos: **Cinza**: engenheiros e arquitetos **branco**: mestre de obras e encarregados **azul**: pedreiros **verde**: serventes **vermelho**: carpinteiros **laranja**: eletricitistas **preto**: técnicos e especialistas em segurança do trabalho **marrom**: visitantes **amarelo**: uso geral para qualquer um, sendo o requisito principal o de alta visibilidade, característica da cor amarela em obras, que é usualmente de alto contraste A figura 10.225 mostra os capacetes com suas cores.



figura 10.225 capacetes e cores acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne luvas

As mãos humanas são as partes de nosso corpo que estão mais sujeitas a riscos de diversas naturezas durante uma jornada de trabalho. Esses riscos são os mais variados que se possa imaginar. Por isso mesmo há vários tipos de luvas de proteção, cada qual imaginado para uma aplicação específica.

Há luvas de proteção que previnem contra a ação de agentes químicos. Nesse caso as luvas são feitas de PVC, de borracha natural, de nitrila, de neoprene, de borracha butílica, de PVA, de viton, de silver shield e de látex. Cada uma dessas substâncias oferece melhor proteção para dados produtos químicos.

As luvas de proteção próprias para prevenir contra impactos mecânicos, contra cortes e também contra esfoladuras produzidas pelo manejo de ferramentas, a exemplo de chaves de fendas convencionais, são usualmente confeccionadas com materiais como o couro, a raspa de vaqueta, material tecido com reforço de fios de aço e/ou de fibras sintéticas muito resistentes e/ou de malhas em aramida.

Há luvas com esses materiais e dorso de nylon, o que aumenta muito o conforto no uso do produto.

Com relação ao tamanho do punho, há luvas com punhos muitos curtos, outras com punhos de 5 a 10 centímetros, considerados punhos medianos, e as com punhos longos, que podem chegar a 15 centímetros.

Há também luvas projetadas para que tenham ênfase nas especificações da função antiderrapante.

As luvas para proteção contra altas voltagens elétricas são confeccionadas com borrachas isolantes e são divididas em classes, como a 00, a 0, a 1, a 2, a 3 e a 4. Por exemplo, a classe 0 é especificada para voltagens de até 1.000 volts porquanto a classe 4 deve oferecer segurança até 40.000 volts, mas seu uso deve ser limitado a 36.000 volts.

botas

As botas, botinas e perneiras são equipamentos EPI destinados a proteger os membros inferiores do corpo humano.

É provável que esses equipamentos não produzam a mesma percepção de proteção do que fazem cintos de segurança, capacetes e outros. Mas o fato é que botas, botinas e perneiras são capazes de oferecer inúmeros benefícios. Considere que ferimentos nos pés ou nos calcanhares podem afastar o instalador por períodos muito longos ou até mesmo em caráter definitivo.

Para instalações de sistemas profissionais de áudio só se admitem calçados profissionais equipados com os elementos destinados a proteger o usuário contra lesões provocadas por acidentes de trabalho, sempre com biqueiras de aço frontal de forte impacto. Preferencialmente com capacidade de manejar impactos de até 200 Joules. Outras características importantes são a capacidade do solado de proteger contra perfurações, principalmente de objetos pontiagudos e de cacos de vidro, e o isolamento elétrico do calçado para proteger contra eventuais choques elétricos.

A escolha requer que o calçado tenha identificação de número, do fabricante que o produziu, da data e procedência de fabricação e outros.

As botas de cano médio protegem contra torções e escoriações. Recursos desejados em casos de pisos muito irregulares. Para instalações em sistemas profissionais de áudio deve se adicionar solados próprios para proteção contra derrapagens e contra umidade.

As botas de cano longo oferecem as mesmas propriedades que as de cano médio, mas com a proteção adicional representada pelo alongamento do cano. Isso pode fazer a diferença em alguns casos específicos, como obras com muitos ferros expostos e em casos de áreas rurais, especialmente sítios e fazendas, já que o cano alto oferece boa proteção contra pequenos animais peçonhentos.

Essas botas podem ser feitas de couro, de nobuck e de outros materiais. Vasos especiais podem exigir proteção ampliada, o que se consegue com materiais como o nomex e o kevlar.

As botas de borracha, especialmente as de cano alto, são próprias para a proteção contra choques elétricos, contra umidade, contra derrapagens e contra uma boa parte dos efeitos de agentes químicos agressivos.

Há um aspecto próprio das grandes obras que usualmente acabo me deparando. Dificilmente encontro pessoas que levem em conta o risco a que submetem instaladores que permanecem em pé por períodos prolongados, especialmente em pisos muito duros como o concreto, sem vestir calçados apropriados. Nesses casos os músculos dos pés, das pernas, das costas e outros podem atingir rapidamente a situação de fadiga. Isso pode ser combatido com muita eficiência mediante uso de botas de proteção equipadas com estofamento adequado, o

que aumenta muito o grau de conforto dos usuários. E retarda bastante a condição de fadiga.

Benefícios colaterais são a prevenção contra problemas mais sérios que podem afetar o sistema músculo esquelético.

As botas exigem manutenção após uso.

As de couro podem ser engraxadas, como se faz com sapatos, ou melhor, com pastas próprias para a conservação de couro.

As botas de borracha devem ser higienizadas com água e sabão neutro e, em seguida, secadas com por dentro e por fora com papel toalha.

Todas as botas devem ser armazenadas em local seco, limpo, sem umidade excessiva. As botas de borracha ainda devem ser conservadas longe da ação direta de raios solares, de solventes, de vapores e de fumos.

Maior segurança contra cortes e perfurações é obtida com o uso de perneiras. Usualmente feitas de couro, sua conservação é como as botas de couro.

óculos de proteção

Há dois tipos diferentes de óculos de segurança. O primeiro tipo tem a função de proteger os olhos do usuário contra objetos e materiais que possam ser lançados em sua direção. O uso desse tipo de óculos de segurança é, comprovadamente, de eficiência muito elevada.

O segundo tipo de óculos protege o usuário contra aerodispersóides. Esse tipo de óculos, também denominado óculos de ampla visão, envolve completamente toda a região ocular.

Há casos de trabalho com riscos combinados nos quais é recomendável usar os dois tipos de óculos ao mesmo tempo.

protetores auditivos

Também há dois tipos diferentes de protetores auditivos, ambos com a mesma função, que é atenuar o nível de ruído quanto este ultrapassa os limites legais previstos. Na ausência de um limite específico, devemos considerar como nível aceitável para uma jornada de trabalho 85 dBA.

Os protetores auditivos não podem atenuar o ruído ambiente de sua totalidade, o que reduziria muito a segurança e a comunicação do usuário. Portanto, a ideia é reduzir o ruído excessivo para patamares funcionalmente seguros sem retirar a percepção aurál de ambiência na qual o usuário se encontra.

O protetor auditivo tipo concha é muito parecido com um fone de ouvido convencional. Por cobrir completamente as orelhas do usuário, ele também protege parcialmente o sistema auxiliar de audição.

O tipo plugue, feito de borracha macia ou de espuma de poliuretano, deve ser introduzido no canal auditivo do usuário.

A escolha dos protetores auditivos se faz em função da atenuação especificada do produto, que precisa estar em linha com a necessidade de atenuação do ruído o que, por sua vez, depende do nível de ruído ambiente. Mas também é importante que o tipo usado ofereça conforto ao usuário. No caso dos protetores tipo concha a seleção passa pelo peso do dispositivo, pelo material utilizado em sua manufatura, pela pressão exercida pelas almofadas nas orelhas, pela pressão da haste que liga as duas conchas e pelos ajustes dessas e de outras funções. A escolha dos protetores tipo plugue deve ser feita experimentalmente, já que há forte dose de subjetividade na aceitação ou rejeição de cada produto.

Embora não seja nada comum, mais recentemente surgiram fones de ouvido canceladores de ruído, especialmente desenvolvidos para atenuar o ruído de aeronaves para os passageiros. Esta pode ser uma boa opção em muitos casos de ruídos elevados, cujas assinaturas espectrais se assemelham à dos ruídos internos produzidos por aeronaves.

A figura 10.226 é uma foto do meu fone cancelador de ruído, marca Audio Technica, modelo ATH-ANC7.



figura 10.226 fone de ouvido cancelador de ruídos Audio Technica ATH-ANC7

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há indivíduos com histórico de infecções do canal auricular e/ou da membrana timpânica, alergias da orelha e/ou do meato auditivo, irritações cutâneas na região

que faz contato com os protetores, perdas induzidas de audição e outros, que exigem a opinião de um otorrino ou, de preferência de um otologista, no que diz respeito à escolha do protetor auditivo mais indicado.

obrigações quanto à segurança e EPIs do empregador

Conforme artigo 166 da Consolidação das Leis do Trabalho a empresa instaladora está obrigada a fornecer sem quaisquer ônus todo o EPI necessários e adequado, em perfeito estado de conservação, aos trabalhadores.

Já o artigo 157 da mesma CLT estabelece “é obrigação da empresa cumprir e fazer cumprir as normas de segurança e medicina do trabalho.”

A empresa que deixar de fornecer EPI ou de fiscalizar o uso correto do material está sujeita a multas que podem variar entre R\$ 630,47 e R\$ 6.304,74, além de penalidades judiciais (fonte: Guia Trabalhista Online).

do empregado

Conforme artigo 158 da Consolidação das Leis do Trabalho, cabe ao empregado observar e colaborar com a empresa na aplicação das normas de segurança e medicina do trabalho. Constitui ato faltoso do empregado a recusa injustificada em usar os equipamentos de EPI, podendo ser advertido com suspensão ou até demissão por justa causa.

10.6.15.3 Áreas de Risco Já falamos das áreas de riscos de da necessidade de isolá-las durante quaisquer atividades de rigging que ofereçam problemas de segurança.

É claro que o foco principal das atenções volta-se para vidas humanas e acidentes com os profissionais trabalhando nas atividades relacionadas com as áreas de risco em questão.

O que é correto. Entretanto, essas áreas são determinadas em sua extensão e horários de risco após análise técnica dos riscos envolvidos.

Isso significa que todos os seguros podem ser feitos uma vez que existem as descrições primárias exigidas pelas companhias de seguro. Estou me referindo a seguros contra riscos de morte e de acidentes pessoais de modo geral.

Mas, além dessa forma de risco, há os riscos de provocar danos ao patrimônio do cliente que fica nas áreas de risco.

Recomendo que os seguros também cubram quaisquer possíveis danos produzidos ao patrimônio físico mencionado, a exemplo de danos provocados em prédios, em instalações, em cabines e em transformadores em geral, em veículos a quaisquer títulos e a quaisquer outros elementos do patrimônio citado.

Caso a empresa instaladora contrate terceiros especializados para a execução do rigging, deve exigir, contratualmente, que todos esses seguros sejam feitos.

10.6.15.4 Tipos de Amarrações e Cestas/Redes de Içamento A figura 10.227 revê as formas clássicas de amarrações mais comuns para içamento de cargas.

AMARRAÇÃO
VERTICAL



AMARRAÇÃO
CORREDIÇA



AMARRAÇÃO
TIPO CESTA



AMARRAÇÃO
TIPO CESTA
FLANGEADA

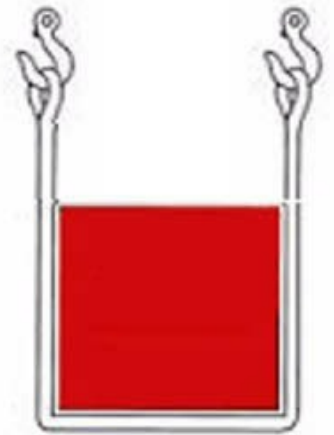


figura 10.227 formas mais comuns de amarração de cargas para içamento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Além disso e todos os detalhes que discutimos nas linhas acima, há uma forma de içar cargas pouco utilizada na prática, mas muito útil diante de cargas com formatos físicos muito irregulares ou quando é praticamente impossível determinar o respectivo CG (Centro de Gravidade).



figura 10.228 rede de içamento profissional cortesia InCord Custom Safety Net Solutions Trata-se do uso de Redes de Içamento. Como na figura 10.228.

A rede da foto da figura tem capacidade para 2.700 kgf. Mas o mesmo fabricante oferece produtos similares, mais em conta, com capacidade para 1.800 kgf.

Essas redes utilizam cordas de polipropileno (HTPP) de alta densidade e resistência elevadíssima, com diâmetro de 6,0 mm a 15,0 mm.

Há uma corda perimetral de nylon que aparece em branco na figura 10.138. Sua função é ajudar no içamento, fechando a rede.

É fundamental lembrar que em hipótese alguma é possível usar redes como essas sem que se disponha das especificações de capacidade de içamento dos respectivos fabricantes.

Pessoalmente já testemunhei vários casos de uso de rede nessas condições. Felizmente sem maiores problemas. Mas o risco esteve presente. É isso que deve ser evitado a todo custo.

Quem tiver interesse em acompanhar um clipe de içamento usando as redes da InCord basta usar o link: <http://www.incord.com/construction/lifting-nets.htm>

10.6.15.5 Cargas Assimétricas e/ou Ventos Também já falamos em usar cabos guias de comando para içar cargas assimétricas ou quaisquer cargas na presença de ventos.

Cabe esclarecer que regimes de ventos muito fortes não podem ser enfrentados. Este é um dos bons motivos para postergar toda a operação. Questão de não correr riscos

desnecessários.

Portanto, os cabos guias de comando só são usados sem ventos com cargas de formato irregular ou com quaisquer cargas e com ventos moderados.

O importante é que esses cabos tenham capacidade suficiente para desempenhar seu papel de conduzir as cargas mantendo-as alinhadas sem perigo de rupturas, rompimentos ou mesmo de esgarçamentos que reduzam ainda mais a capacidade, aumentando os riscos.

Uma das maneiras mais simples de evitar tais riscos é, além de escolher as cordas ou cintas de poliéster adequadas, usar duas, três ou mais delas simultaneamente. A vantagem adicional é que aumenta a “dirigibilidade” do comando.

10.6.15.6 Identificações de Capacidade Os cabos de aço são possuem identificações de capacidade, mas são adquiridos em função delas. Uma das coisas que se pode fazer, além das providências administrativas de praxe de almoxarifados e estoques, é fixar etiquetas de identificação dos cabos de aço, com datas de aquisição, dados dos fornecedores e capacidades especificadas.

Atualmente, é possível manter fichas técnicas completas de todos os produtos em forma de arquivos digitais.

Os acessórios dos cabos de aço costumam incluir dados de capacidade.

Veja os exemplos da figura 10.229. Nos três casos a informação da capacidade está no interior dos círculos vermelhos que lá coloquei apenas para destacar as informações.

No lado esquerdo está a manilha com capacidade para 8,5 toneladas. Ao centro um anelão com capacidade especificada de 6,5 toneladas e, finalmente, no lado direito um gancho com trava e capacidade nominal de 3,15 toneladas.



figura 10.229 capacidades nominais de acessórios de cabos de aço acervo do engº Luiz Fernando O.

Cysne Com frequência ocorre do acessórios não ter a identificação de capacidade. Outras vezes a capacidade foi originalmente colocado no produto, mas desgastes físicos naturais fizeram com que essas marcas desaparecessem ou se tornassem ilegíveis. Se um dia você estiver diante de uma situação como essa, não corra riscos. Nem permita que outros o façam. Mesmo em casos de muita pressa para terminar o serviço.

Ao invés disso, providencie o acessório correto. Essa é uma postura profissional que o cliente deve apreciar.

10.6.15.7 Fator de Segurança (FS) Até aqui mencionamos os Fatores de Segurança (FS) muitas

vezes.

Agora, numa visão mais ampla, como se fosse de conjunto, se adotarmos um FS de, digamos, 12 para qualquer componente do aparato de içamento, devemos fazer o mesmo com todos os demais. Do contrário, estaremos produzindo situação semelhante à da corrente com elos que suportam esforços desiguais. Um deles, o mais fraco, acaba sendo o determinante da capacidade da corrente.

Portanto, se estabelecemos FS=12 para um componente, estabelecemos FS=12 para todos os componentes do arranjo.

10.6.15.8 Lubrificação dos Cabos de Aço Sim senhor. Cabos de aço precisam ser lubrificados. A rigor, eles já saem de fábrica pré lubrificados. Com o tempo, o óleo ou graxa lubrificante vai envelhecendo e perdendo suas propriedades de lubrificação.

A saída é relubrificar. O que garante vida útil prolongada para o produto, especialmente no que se refere à prevenção contra corrosões. Entretanto, o lubrificante evita a penetração de água e umidade no interior das fibras e fios.

O melhor óleo ou graxa a ser empregado em cada caso é o recomendado pelo respectivo fabricante.

De modo geral os lubrificantes com teflon são muito eficientes. Especialmente como repelentes a água e umidade. Mas eles também possuem excelente capacidade de penetração no cabo, garantindo o acesso a partes muito difíceis.

Uma boa lubrificação é feita com o cabo totalmente seco e limpo, de modo a prevenir a aderência de partículas de sujeira.

A limpeza nem sempre é fácil. Mas existem produtos especialmente desenvolvidos para essa finalidade, a exemplo de limpantes atóxicos e desengraxantes da Interflon, como o modelo Interflon Degreaser EM30+.

10.6.15.9 Sinalização Não pretendo que ninguém decore a sinalização padrão utilizada em rigging. Por outro lado, creio que é importante que você ao menos saiba que ela exista.

Dessa forma, se um dia estiver em campo e sentir que a comunicação está difícil ou que a visibilidade fica prejudica pelas circunstâncias, vai se lembrar que poderá sugerir ou mesmo exigir, dependendo do caso, que a sinalização seja adotada como medida de pura segurança.

A sinalização manual estabelecida na Norma NBR 11436 bem como na norma ANSI/ASME B30.5 é o que mostra a 10.230.

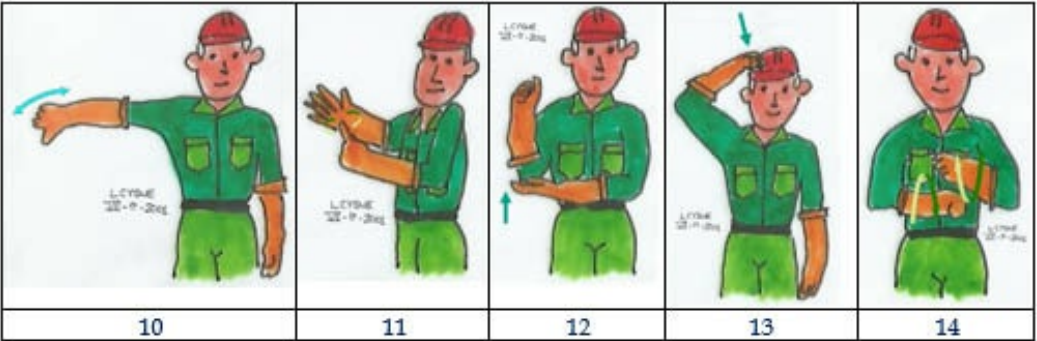
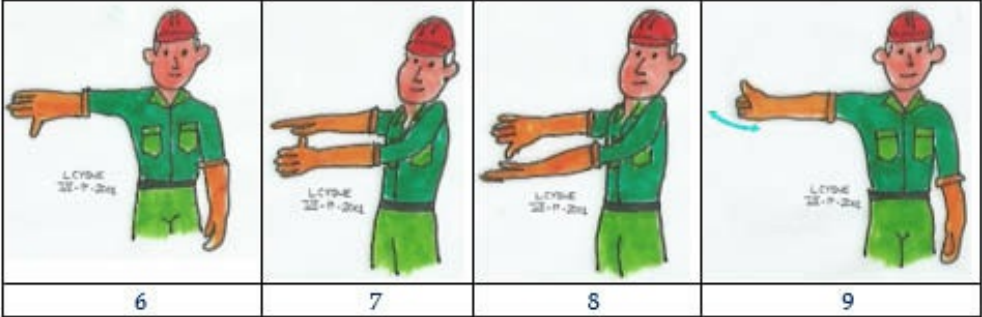
Os significados são:

1 – subir carga

- 2 – descer carga
- 3 – subir carga lentamente 4 – descer carga lentamente 5 – subir lança
- 6 – descer lança
- 7 – subir lança lentamente 8 – descer lança lentamente 9 – subir lança e descer carga 10 – descer lança e subir carga 11 – fazer tudo lentamente 12 – virar à esquerda
- 13 – usar cabo principal 14 – locomoção para frente 15 – virar à esquerda
- 16 – virar à direita
- 17 – fechar lança
- 18 – abrir lança
- 19 – girar
- 20 – parar
- 21 – fechar clam
- 22 – abrir clam
- 23 – travar tudo

Até aqui os sinais seguem as normas citadas. Os que são listados a seguir fazem parte de normas alternativas não padronizadas e de alguns procedimentos introduzidos por empresas do ramo, sem pretensões de lhes dar um caráter universal.

- 24 – parada de emergência 25 – locomover frontalmente 26 – flutuar
- 27 – terminar no lado esquerdo 28 – terminar no lado direito 29 – locomover um lado 30 – estender lança telescópica 31 – retraindo lança telescópica



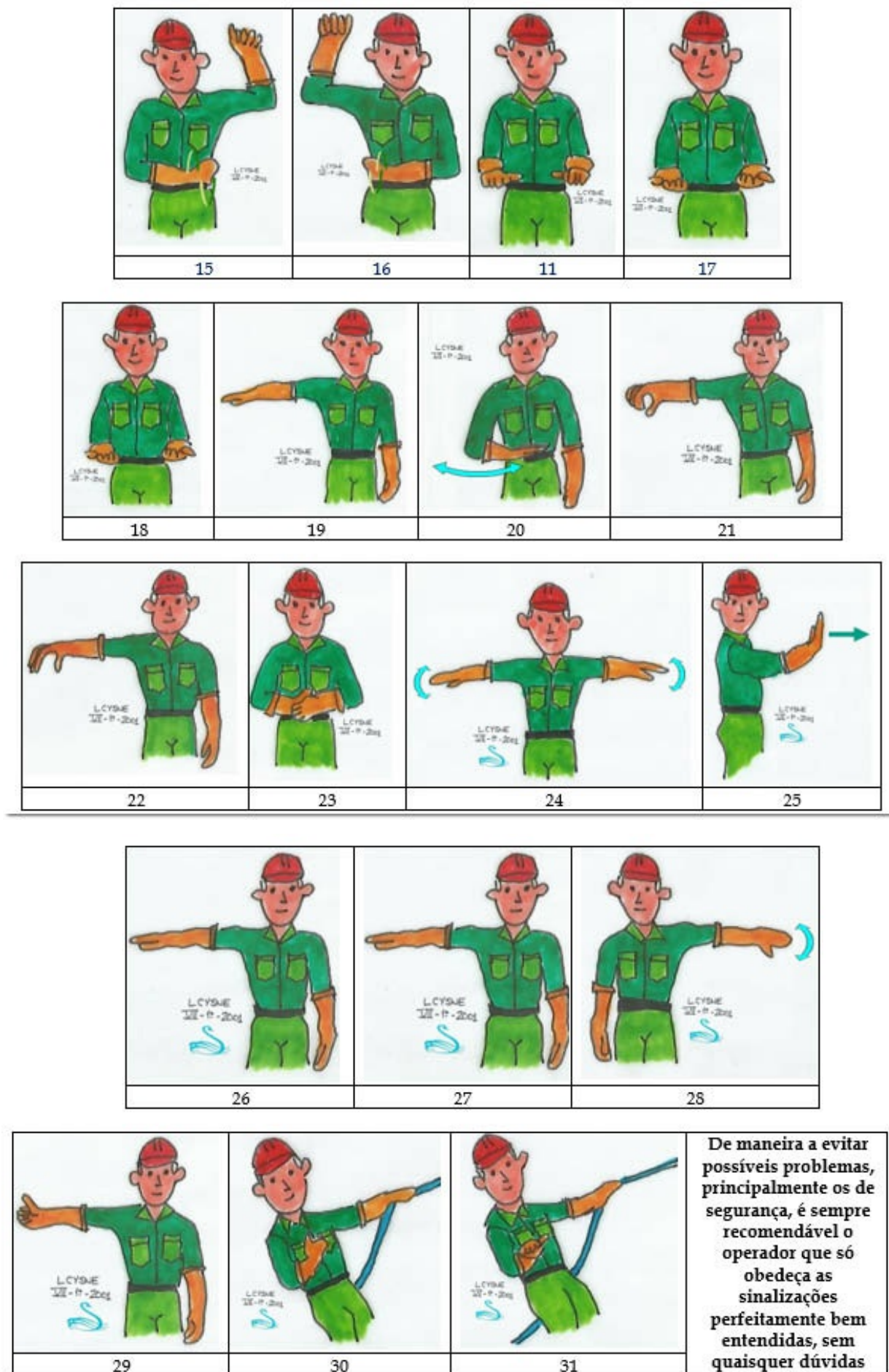


figura 10.230 sinalização padrão utilizada em rigging (NBR 11436 e na norma ANSI/ASME B30.5) além de sinalização alternativa (24 a 31) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 10.7 MANUTENÇÃO DE SISTEMAS PROFISSIONAIS DE ÁUDIO

Usualmente recomendo aos projetistas de sistemas profissionais de áudio, sejam eles alunos de meus cursos regulares ou profissionais tarimbados que me pedem para opinar, que a

escolha de cada componente de um sistema de pequeno, médio ou grande porte não seja feita sem levar em conta os vários aspectos relacionados com manutenção.

O que quero dizer com isso? Que o profissional deve considerar que cada aparelho do sistema não seja apenas um daqueles itens avulsos, de marca relativamente desconhecida e preço baixo, que amanhã pode não ser mais encontrada no mercado. Ao contrário, todo e qualquer item pré selecionado para posterior escolha deve ser de marca bem conhecida e reputada. É essencial que o fabricante, quer nacional, quer de fora, já tenha estabelecido uma rede de assistência técnica autorizada e devidamente credenciada para comercializar peças de reposição e também para prestar serviços, inclusive de manutenção corretiva. Evidentemente essas oficinas devem ter disponíveis em estoque todas as peças necessárias e possuir o instrumental e ferramental necessários para realizar serviços de testes e reparos eventualmente necessários. Também é de suma importância haver disponibilidade imediata de peças sobressalentes para venda avulsa. Do mesmo modo, é importante que os componentes pré selecionados sejam tecnicamente confiáveis.

Muito bem, alguém deve estar pensando como saber se um aparelho é ou não confiável. Vejamos.

Vamos entender confiabilidade como sendo a faculdade do aparelho funcionar corretamente, dentro dos padrões de qualidade e especificações publicadas, sem apresentar quaisquer tipos de falhas, defeitos, panes ou anomalias por um determinado período de tempo. Evidentemente, para que isso ocorra é fundamental que o aparelho opere de acordo com todas as especificações e recomendações feitas pelos fabricantes, como requisitos operacionais de alimentação de energia, condições ambientais, faixas de temperatura e grau de umidade relativa do ar, presença de fungos e de agentes bacterianos, de agentes explosivos e contaminantes de espectro amplo, choques térmicos, presença de chuva, presença de particulados no ar e poeira flutuando no ambiente, névoa salina, radiação direta de luz solar, ataques químicos em geral, observação de espaços físicos mínimos em torno do aparelho a fim de possibilitar que ele tenha meios para trocar calor com o meio ambiente, sujeição a campos elétricos, magnéticos ou eletromagnéticos, vibrações mecânicas e impactos físicos, batidas por efeito de operação, quedas em geral, variações repentinas de pressão e tantos outros.

Chama-se engenharia de confiabilidade a ciência que orienta todas as ações, análises e pesquisas para determinar a confiabilidade efetiva de um aparelho com o objetivo de identificar ações capazes de reduzir falhas e, na ocorrência destas, de mitigar suas consequências e propagação para o resto do sistema.

É precisamente essa ciência que estabelece o nível de confiabilidade desejado do sistema e, via de consequências, de cada um de seus componentes.

Para que o nível de confiabilidade seja realmente obtido é essencial que se especifique não só os aparelhos do sistema, mas também os requisitos operacionais completos, especialmente a infraestrutura, assim entendida a rede seca de eletrodutos, cabos em geral e toda a energia técnica, incluindo aterramento técnico. Além disso, estabelecer os níveis de confiabilidade de um sistema passa pela definição do nível educacional, dos dotes vocacionais mínimos e do treinamento específico no sistema que devem ser exigidos dos técnicos e operadores desse mesmo sistema.

Deve haver uma certa correlação técnica entre o sistema em si e os respectivos operadores. Se pensássemos em termos de automobilismo diria que seria loucura entregar um Fórmula 1 para um barbeiro. Tanto quanto entregar uma velha e surrada lata velha para o Fernando Alonso. Pilotos de ponta merecem carros competitivos em sua categoria porquanto motoristas convencionais se dão melhor com veículos convencionais.

Não se pode esquecer que é fundamental desenhar um programa de testes do sistema, não apenas os testes de aceitação, mas um programa contínuo que inclua a monitoração de todo o sistema buscando identificar e isolar falhas eventuais, que poderão ser analisadas na sequência, com a finalidade de que inclusive possam ser propostas alterações corretivas dos parâmetros iniciais de projeto e no curso da manutenção.

Uma elevada confiabilidade de sistema resulta em mais disponibilidade do sistema.

Portanto, prever a confiabilidade de cada componente é projetar uma taxa que pode implicar na paralisação parcial eventual ou total do sistema. Veremos logo adiante como é possível antecipar a confiabilidade de um dado aparelho. Outrossim, quem tiver interesse nesse tópico também pode consultar os seguintes padrões: **MIL-HDBK 217F, norma desenvolvida pelo Departamento de Defesa Dos Estados Unidos** **TELCORDIA 1 – norma criada pelo Bell Labs da AT&T**

As figuras obtidas com a estimativa da confiabilidade podem orientar a severidade dos danos produzidos para o sistema como um todo e, em função disso, determinar que aparelhos podem ser suportados por redundância. Alguns deles podem contar com o recurso da substituição automática (hot swap). Do mesmo modo, essas figuras servem para que o projetista faça um esboço preliminar da estratégia de manutenção.

Lembro-me do projeto do sistema de sonorização que fizemos juntamente com a Philips Projects de Eindhoven para as Usinas Nucleares Angra I e Angra II. Cada componente era à prova de explosão e tinha dupla redundância.

Modelar as falhas de um aparelho é uma das ferramentas da engenharia de confiabilidade. Eis porque esses modelos são absolutamente importantes para prever a confiabilidade e seus desdobramentos.

Tais modelos são construídos a partir de dados reais de estatística de falhas. Eles se apresentam aproximadamente como mostra a figura 6.69 do capítulo 6.

No capítulo 6 mencionei que praticamente todos os produtos industrializados ou construídos artesanalmente passam por uma etapa inicial de acomodação e ajustes, para que venham a adquirir suas características normais plenas. E informei que essa etapa era indicada na figura 6.69 com a curva “A”. Pois bem, agora acrescento que, além disso, quando o produto é montado como parte de um sistema para compor um todo maior, as falhas iniciais também podem ser decorrência de erros de montagem, de descuidos com ajustes operacionais e, principalmente, de imperfeições em conexões mecânicas, a exemplo de problemas com soldas em conectores ou crimpagens irregulares cujas tolerâncias extrapolaram os valores nominais exigidos.

Convém mencionar que há uma relativa interdependência entre vida útil e taxa de falhas. Por exemplo, dois aparelhos similares podem apresentar vida útil da mesma ordem de grandeza, sendo que um dos aparelhos tem o dobro da taxa de falhas que o outro.

Por outro lado, vemos que há uma relação íntima entre confiabilidade e tempo. Pense num taxi, que roda 10.000 quilômetros a cada mês. E agora pense num veículo particular de uma pessoa que roda apenas 1.000 quilômetros por mês. Deve parecer óbvio que após 2 anos o veículo do particular apresenta confiabilidade muito superior à do taxi, mesmo que ambos tenham sido conservados de acordo com as prescrições do fabricante.

Foi para tentar eliminar a componente tempo da confiabilidade que se arquitetou o que se chama Figura de Mérito, termo esse que significa uma medida bem prática de comparação. Estou me referindo ao MTBF, acrônimo para Mean Time Between Failures. O que essa Figura de Mérito representa é precisamente o tempo médio que um dado sistema é capaz de operar sem falhar. Portanto, é uma medida que pode ser calculada para vários sistemas e, posteriormente, comparadas.

O MTBF pode ser bem aproximado pela expressão:

$$MTBF = T/N$$

onde

- T é o tempo de operação do sistema em funcionamento, e
- N é a quantidade de falhas ocorridas no tempo T

Uma vez calculado o MTBF é possível calcular a Predição de Confiabilidade PC:

$$PC(\text{tempo}) = e^{-(t/MTBF)}$$

Podemos jogar com esses números. Por exemplo, estabelecer uma Predição de Confiabilidade e um período (t) para, então, calcular o MTBF. Vejamos isso com um exemplo.

Seja uma sala corporativa de treinamento. O MTBF do sistema é 250.000 horas. Qual será o período de funcionamento contínuo dessa facilidade se queremos confiabilidade 98%?

$$0,98 = e^{-t/250.000}, \text{ portanto } \ln 0,98 = -(t/250.000), \text{ então: } t = 5.050 \text{ horas ou 210 dias}$$

Também é possível expressar a confiabilidade de um sistema em termos de sua taxa média de falhas. A taxa de falhas (λ) é calculada pela expressão

$$\lambda = 1/MTBF$$

No caso da sala de treinamento do exemplo acima:

$$\lambda = 1/250.000 = 0,000004 \text{ falhas por hora}$$

Neste momento quero introduzir dois conceitos que fazem parte integrante deste assunto. Falo de Manutenibilidade e de Disponibilidade.

Vamos entender Manutenibilidade como sendo a possibilidade de, em caso de falha ou defeito apresentado por um sistema, reparar o mesmo no menor tempo possível e, de preferência, com esse tempo tendendo a zero. O que ocorre quando um aparelho de um sistema que apresenta uma falha é automaticamente substituído por um similar redundante.

Entretanto, a Manutenibilidade também é questão de projeto. Fatores que devem ser considerados são a acessibilidade física aos componentes do sistema, a testabilidade e a facilidade de substituição de aparelhos eventualmente danificados.

A Manutenibilidade depende, e muito, da qualidade do projeto do sistema, da qualidade específica dos aparelhos e dos materiais utilizados em sua produção, da qualidade dos serviços aplicados na etapa de instalações, das montagens e alinhamento do sistema ao qual ele pertence, especialmente no que se refere à conectorização, disponibilidade de itens redundantes e de peças de reposição, a exemplo de estoque estratégico de peças de reposição e de aparelhos reserva no local de instalação, da qualidade da operação, das características e da qualidade da energia provida ao sistema, das condições ambientais, da gerência térmica

utilizada para todos os aparelhos do sistema, *etc.*

Fatores secundários mas também muito importantes são a disponibilidade de documentação técnica e o grau de credenciamento técnico das equipes de manutenção.

A Disponibilidade – o segundo conceito que mencionei acima – tem a ver com os períodos de operação e eventuais períodos usados para manutenção. Se designarmos o período médio de operação de PMO e o período consumido com manutenção de PCM, podemos definir a Disponibilidade (D) como

$$D = \text{PMO} / \text{PCM}$$

Logo, a Indisponibilidade I é

$$I = 1 - D = \text{PCM} / (\text{PMO} + \text{PCM})$$

Creio que também posso introduzir o conceito de MTTR, acrônimo para Mean Time to Repair, ou Tempo Médio para Reparos. Que dispensa explicações adicionais.

Isso posto vamos entrar na manutenção propriamente dita.

É praxe dividir a manutenção de um sistema em Manutenção Preventiva, Manutenção Preditiva e Manutenção Corretiva. Vejamos cada um desses ramos separadamente.

10.7.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA A manutenção Preventiva é um trabalho pré determinado, que corresponde a um conjunto de ações desenvolvidas planejadamente, com coordenação entre elas, consoante cronograma de atividades. Como o próprio nome sugere, o objetivo primeiro da Manutenção Preventiva é prevenir o desgaste e a deterioração do sistema e de cada um de seus componentes e, acima de tudo, evitar falhas catastróficas do sistema. Vamos definir falha catastrófica de sistema como sendo a ocorrência de um ou mais defeitos de gravidade extrema, que impedem totalmente sua operação. Ainda, essa falha tem natureza que pode ser classificada como repentina e, sobretudo, inesperada. A falha catastrófica não admite que a recomposição do sistema possa se dar num curto intervalo de tempo, independentemente dos esforços realizados nesse sentido.

Como objetivos secundários da Manutenção Preventiva estão a proteção do patrimônio da organização proprietária do sistema e o prolongamento da vida útil de cada um dos componentes do sistema. O que também significa economia.

Nesses termos, podemos dizer que a Manutenção Preventiva ajuda a: - incrementar a confiabilidade do sistema e de seus componentes - reduzir custos com substituições - reduzir

os tempos PUM, que são os períodos usado para serviços de manutenção - reduzir riscos de acidentes mecânicos e/ou elétricos. Inúmeras autoridades no assunto reconhecem que a Manutenção Preventiva é um processo tão importante que deve ser feita absoluto profissionalismo. Ao equivale dizer que ela deve ser incluir no mínimo os seguintes cuidados:

10.7.1.1 substituição planejada (aplicável a todos os componentes cujas confiabilidades sejam as mais críticas):

- verificar as recomendações nesse sentido apresentadas pelos fabricantes
- incluir no processo as melhores práticas publicadas por organismos como AES – Audio Engineering Society, Infocomm e outros
- manter em dia todas as informações pertinentes a serviços de manutenção realizados
- planejar no tempo (elaborar cronograma) de substituição de componentes em função dos períodos de vida útil estimados.

- adquirir e manter estoques estratégicos os seguintes itens: - componentes menos confiáveis - componentes críticos

- componentes com substituição programada
- substituir prestadores de serviços que não atendam os critérios de qualidade e/ou de prazos estabelecidos

A mera introdução do planejamento na atividade de manutenção, especialmente no sentido de maximizar os resultados da Manutenção Preventiva, reduzirão substancialmente a Manutenção Corretiva e os custos com a mão de obra daí decorrente, bem como as despesas por não se ter o equipamento operando satisfatoriamente ou mesmo não operando. Por exemplo, impondo a necessidade de alugar equipamento completo para substituir o que não opera. Nesses casos, tipicamente os resultados obtidos com o sistema locado fica muito aquém do que é obtido com o sistema titular.

10.7.1.2 procedimentos experimentais Uma das preocupações mais comuns entre todos é evitar as falhas catastróficas de sistemas o máximo possível. Pois bem, Alguns procedimentos experimentais podem ajudar muito a afastar as falhas catastróficas.

E o que são os procedimentos experimentais? São basicamente ações que visam a elaborar diagnósticos com base em:

- experiência acumulada com os componentes do sistema, organizado em termos de:
- registros de observações e de controles
- registros de todos os serviços executados
- frequência de substituição de aparelhos e componentes
- análises de quaisquer falhas que tenham ocorridas
- análises do logbook (*)
- programa de realinhamento periódico regular, incluindo:
- análise dos realinhamentos mecânicos das caixas acústicas e de apontamentos de reapertos de parafusos e peças de fixação de quaisquer itens que trabalhem içados
- realinhamento de todos os parâmetros “default” de todos os processadores utilizados no sistema, sejam eles analógicos, digitais ou virtuais
- realinhamento das estruturas de ganho do sistema, com volta aos valores “default” originais
- realinhamento dos níveis SPL

produzidos em todas as áreas atendidas pelo reforço de som, com volta aos valores “default” caso necessário - utilização de código de cores para identificar com mais facilidade todos os pontos de reaperto mecânico - frequência de substituição de aparelhos e componentes - análises de quaisquer falhas que tenham ocorridas - análises do logbook (*) 10.7.1.3 o que incluir na manutenção preventiva Vamos pensar num sistema de reforço de som convencional.

As fontes de programa são microfones e computadores equipados com saídas de áudio de bluray players, além de outras. Depois temos um mixer digital de 48 canais e os canais de áudio L, C, R, surround L, surround R e subwoofer. Como o mixer é digital, todo o processamento principal está nele. As caixas acústicas são ativas, e os respectivos amplificadores precedidos por engenhos DSP e estes precedidos por NICs Dante. Portanto, uma boa parte do processamento é feito nos DSPs dos amplificadores das caixas acústicas.

O sistema de monitoração de palco é todo formato “snake digital”, com patchbays para afunilar as 64 entradas de microfones para os 48 canais do mixer. Foram previstos mixers pessoais e a monitoração no palco é feita com fones de ouvido com e sem fio.

A monitoração na cabine é simples e feita com fones de ouvido e três caixas acústicas tipo near field ativas.

Todo o sistema de energia é alimentado a partir de um painel de controle com sequenciamento automático de carga, por exemplo o modelo MSP da Lyntec, cuja foto é o que mostra a figura 1.

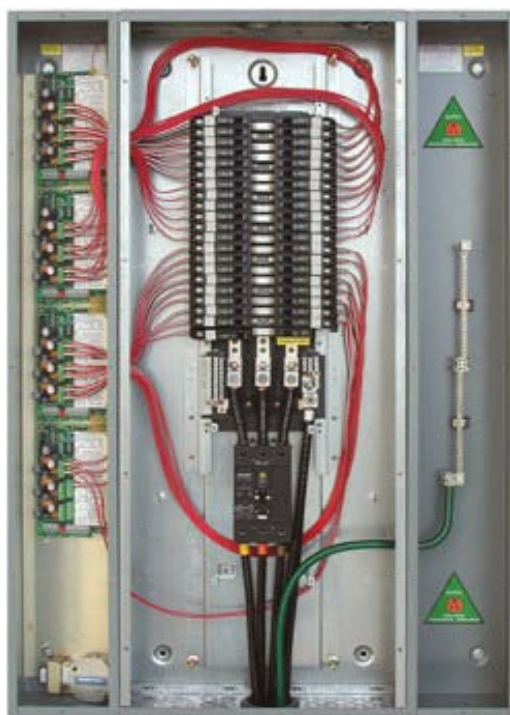


figura 10.231 modelo MSP da Lyntec cortesia Lyntec

Esse dispositivo permite que os circuitos sejam acionados sequencialmente, com ordem inversa no desligamento. Como mencionei em outro lugar deste livro, a ideia de sequenciar a energização é eliminar os efeitos altamente deletérios de uma muito elevada corrente “in rush”,

que podem atingir 50 vezes mais intensidade que a intensidade típica dos amplificadores e outros equipamentos. Por essa razão o Lyntec possibilita os ajustes de temporização de maneira muito flexível, sem qualquer dificuldade.

Um dos procedimentos mais simples e eficazes que se pode imaginar para a manutenção preventiva de um sistema como o que acabei de descrever é o que é feito cada vez que o sistema é ligado. Seja isso feito diariamente, algumas vezes por semana ou apenas vez por outra.

As etapas sugeridas:

etapa 1

Acompanhar com muita atenção todo o sequenciamento da energização, o que pode ser bastante facilitado se o Lyntec estiver equipado com módulos opcionais para controle remoto via rede.

etapa 2

Depois que o último circuito do sequenciamento tiver sido acionado, espere cerca de 15 minutos para que o sistema possa adquirir estabilidade térmica.

etapa 3

Nesta etapa você vai testar todos os microfones. Use um pequeno cabo feito exclusivamente para este teste, ligando um microfone de cada vez ao mesmo cabo, o qual deve estar ligado em qualquer canal de entrada que você queira. Apenas fale uma frase curta no microfone e monitore o áudio produzido no fone de ouvido.

Com relação aos microfones sem fio, é preciso testar cada um deles individualmente e o conjunto de todos os microfones, deixando todos ativos. Este é um teste que se faz mais para testar as condições de rádio comunicação do que testar qualquer outra coisa.

Se você usa um snake digital, como o da Roland ou o da Behringer, deve testar todo o aparato.

Do mesmo modo, quando aplicável, é preciso testar os seguintes equipamentos com eletrônica ativa: splitters (tanto os ativos quanto os passivos), fontes phantom power autônomas e direct injection boxes *também aqui as ativas e as passivas).

Entre outros, os seguintes acessórios utilizados juntamente com os microfones devem ser verificados nesta etapa:

- stands de mesa, stands tipo estúdio e estúdios com braços
- tripés em geral

- braços separados para stands
- contrapesos
- windscreens e pop filters
- shock mounts
- stands para microfone padrão estúdio (com desacoplamento elástico)
- atenuadores de

linha (tipo Shure A15AS) • cliques de lapela

• cliques para adaptação de microfones a instrumentos • cabos e extensões (fazer os testes com testadores especializados) • adaptadores de rosca para microfones • medusas

etapa 4

Teste as demais fontes de programa. Que podem ser um iPhone, iPad ou iPod, um bluray player ou equivalente, um computador, a áudio produzido por programação de uma TV a cabo, um gravador digital portátil como o Zoom H4n e, caso haja outras, teste todas elas.

Muitas vezes computadores utilizados como fontes de programa não são testados por puro esquecimento. Quando os computadores realmente são utilizados como fontes de programa é importante que eles sejam incluídos na relação de fontes a testar.

etapa 5

Esta etapa é exclusivamente voltada para os testes do mixer digital, com a honrosa exceção dos fones ouvido, os quais serão utilizados durante os testes dos mixers.

Portanto, antes de qualquer outra coisa teste os fones de ouvido disponíveis.

A seguir teste as entradas para microfone e para sinais com nível de linha do primeiro canal. A primeira coisa a fazer depois disso é testar todas as funções desse canal de entrada. Faça isso com calma e use o tempo que for preciso para não pular tarefas nem trabalhar por amostragem. Esse teste pode ser dividido em 5 passos. No passo 1 você testa o amplificador de entrada do canal, que é um item de suma importância. O teste é auditivo e deve ser feito enquanto você altera o ganho de entrada e ouve os resultados no fone de ouvido. No passo 2 você testa todo o processamento alocado a esse mesmo canal. E procura testar as ações de cada processador, seja ele compressor, gate, equalizador ou efeito. Tente comparar o sinal sem a ação do processamento e depois com ela. No passo 3 você deve testar todo o endereçamento do canal. Para subgrupos, matrizes, saídas principais, *etc.* No passo 4 você vai testar todos os ganhos, atenuadores, pads, faders e o que mais houver para alterar a magnitude dos sinais desse mesmo canal. O quinto e último passo consiste no teste das funções de monitoração do canal. Pre fader, Post Fader e o que mais houver. Tudo deve estar funcionando perfeitamente bem. Ou você terá detectado uma possível falha do mixer.

Repita esses mesmos testes para os demais canais de entrada do mixer. Mono e estéreo.

Na maioria dos mixers você terá mixes de saída na forma de busses, na forma de matrizes e saídas principais.

Faça testes como os descritos para os canais, com os ajustes que couberem, começando com os canais de saída (mixes na forma de busses), depois para as matrizes e depois para as saídas principais. É importante testar todas as funções de cada um desses grupos, mesmo que no momento você não os esteja utilizando. Pois é assim que os defeitos podem se esconder

com mais facilidade.

Muitos mixers possuem slots para placas adicionais e/ou de expansão. Se o seu mixer está equipado com uma ou mais dessas placas, certifique-se de que elas estejam funcionando perfeitamente.

Concluídos esses testes é hora de fazer os testes de funcionalidades de aplicação geral. Usualmente chamados de **Funções Globais**. Como por exemplo o displêi de comunicação entre o mixer e o operador. Teste cada uma de suas muitas funções, incluindo contraste se houver. Nessa mesma linha teste as portas e os interfaces de uso externo do mixer. Por exemplo, uma porta serial tipo “comm”. Teste funções do displêi como clicar e arrastar, a função troca das telas diferentes, a rolagem das telas, a operação de todos os botões virtuais, o ajuste ou configuração de knobs e de faders e as designações de nomes associados a cada particular função. Teste também as funções dos “encoders”.

Teste ou certifique-se, sempre que a aplicável, a correção das seguintes funções globais: • funções de efeitos

- parâmetros dos efeitos - atribuição (assign) dos efeitos - tela de livreria de efeitos
- funções GEC
 - tela de parâmetros de GEC
 - tela de atribuição de GEC
 - tela de livreria de GEC
- funções de cenários
 - tela dos cenários
 - tela com a lista de eventos - tela com as alternativas de “selective recall”
 - tela com os recalls armazenados - tela com a temporização dos efeitos - tela de livreria de efeitos
- funções MIDI remoto
 - tela de setup de MIDI
 - tela de MIDI program change - tela de MIDI control change - tela de MIDI remoto
- tela GPI
- tela de fader star
- tela de load
- tela de security
- funções utility
 - preferência telas 1/2
 - tela definida pelo usuário - tela save
 - tela load
 - tela fader assign

- tela transport
- tela DME control
- funções medidores VI - tela dos medidores de entrada - tela dos medidores de saída - tela de redução dos ganhos de entrada - tela de redução dos ganhos de saída • funções MON/CUE
 - tela talkbak
 - tela oscilador interno - tela I/O 2 track
 - tela monitor
 - tela CUE/SOLO
- funções patch de saída - tela patch de saída
 - tela patch insert
 - tela ponto de insert
 - tela livraria do patch de saída • funções insert de saída - tela 1-24 mix insert in - tela matrix/stereo/mono insert in - tela livraria HA
- funções EQ de saída
 - tela parâmetros EQ
 - tela mix 1-24
 - tela matriz/stereo
 - tela livraria EQ de saída • funções compressão de saída - parâmetros de compressão - tela mix 1-24
 - tela matrix/stereo
 - tela livraria de compressão • funções delay de saída - tela mix 1-24
 - tela matrix/stereo
- funções DCA/grupos
 - tela atribuição dos grupos DCA - tela atribuição dos grupos mute - tela atribuição do link de EQ
 - tela 1-24 mix insert in - tela matrix/stereo/mono insert in - tela livraria HA
- funções matrix/ST
 - tela endereçamento matrix/st - tela com visualização de mix para matrix - tela LCR
 - tela set de surround
- funções visibilidade de saída - visibilidade dos canais - tela com fluxos de sinais - tela com visibilidade dos faders - tela channel copy
 - tela com livraria dos canais de saída - parâmetros de compressão - tela mix 1-24
 - tela matrix/stereo
 - tela livraria de compressão • funções delay de saída - tela mix 1-24

- tela matrix/stereo

Esta etapa 5 foi baseada nas características do mixer digital Yamaha PM5D. Elas poderão ser facilmente adaptadas para outros mixers digitais de maior ou menor porte. Por outro lado, acomodar essa forma de teste aos mixers analógicos é tarefa praticamente desnecessária. Nestes, os testes ocorrem praticamente por verificação individual de cada um dos controles, sejam eles teclas, potenciômetros rotativos, botões, *etc.*

Entretanto, a lógica dos testes é a mesma. Ou seja, deve-se iniciar pelo primeiro canal de entrada e ir, do mesmo modo, até o último canal de entrada. Então evoluir para os subgrupos, mandadas e saídas. Tanto as auxiliares, quanto as de retorno de palco e, principalmente, as saídas LCR principais. Depois disso, testam-se as funções gerais, tais como medidores, talkback, phantom power, funções de monitoração, *etc.*

Devo lembrar que praticamente todos os mixers digitais modernos possuem rotinas internas de automanutenção e podem apontar para problemas detectados, tanto os de hardware quanto os de software.

É evidente que o trabalho maior de teste fica concentrado no mixer do sistema. Entretanto, isso é precisamente o que era de se esperar, já que quase toda a operação do sistema é feita no próprio mixer, ou num de seus apêndices a ele atrelado via comunicação wireless. A propósito, quando esse for o caso é altamente recomendável estender os testes a todos esses apêndices bem como à comunicação wireless.

etapa 6

Nessa etapa os testes são feitos nos processadores. A ideia é fazer os testes ao estilo do que ventilamos para o mixer.

Como antes, é preciso testar todas as funções de cada aparelho. Mesmo que elas não sejam utilizadas.

Os processadores que podem fazer parte de um sistema incluem: - equalizadores a quaisquer títulos - compressores

- gates
- combinações dos processadores acima relacionados num único chassi - crossovers analógicos e/ou digitais - reverbs
- exciters

A figura 10.232 mostra um exciter muito conhecido e há muito tempo no mercado, que é o Aphex Aural Exciter.



figura 10.232 Aphex Aural Exciter cortesia Aphex

- sonic maximizer

A figura 10.233 mostra o sonic maximizer 882i da BBE Sound Inc., totalmente analógico, dual mono, desenhado para aplicações que exijam níveis de ruído verdadeiramente reduzidos. Entradas e saídas XLR balanceadas com margem dinâmica muito elevada e níveis nominais de entrada de +4dBu.



figura 10.233 BBE modelo 882i cortesia BBE

- simuladores de fita

O termo simulador de fita já dá uma precisa noção do que faz este aparelho. Isto porque muitos usuários concordam com o fabricante que esta é uma maneira séria e profissional de trazer o calor do áudio analógico para o universo digital. Escolhi este processador como exemplo porque ele foi agraciado com um prêmio de “melhor processador-EQ” concedido pela AES – Audio Engineering Society, além de referenciais muito elogiosas da EQ Magazine e de profissionais como George Massenburg, Craig Anderson e muitos outros.



figura 10.234 Empirical Labs Fatso EL7x cortesia Empirical Labs - SPL stereo vitalizer



figura 10.235 SPL Stereo Vializer cortesia SPL

A lista acima é, evidentemente, apenas um exemplo de que aparelhos podem ser empregados num sistema. Por isso mesmo, é preciso fazer todos os ajustes necessários para cada caso específico.

etapa 7

Esta é a etapa dos amplificadores. Que pode ser pulada caso o sistema só tenha caixas acústicas ativas.

Os testes com os amplificadores incluem os testes operacionais, além da verificação de que todas as funções de monitoração existentes nos painéis frontais estão funcionando.

Quando os amplificadores são instalados remotamente, é sempre recomendável instalar uma câmera de vídeo focando os respectivos painéis frontais com as imagens sendo reproduzidas numa tela na cabine frente da casa. Dessa maneira o operador pode exercer a

monitoração remota em caráter permanente.

etapa 8

Uma vez testados os amplificadores, já é possível testar as caixas acústicas. Eis porque a etapa 8 é dedicada às caixas acústicas. Tanto das ativas quanto das passivas.

Vamos começar com as passivas.

Pensemos inicialmente em caixas de uma só via, tipo fullrange. Nessas condições os testes são sempre diretos e objetivos. É acioná-las com qualquer programa desejado e constatar que elas estão operacionais. Ou não.

Quando as caixas são de duas ou mais vias é imperativo testar individualmente cada via de cada caixa acústica. Isto porque o eventual defeito de uma caixa problemática, por qualquer motivo, tende a se “esconder”. Tanto mais quanto mais caixas são usadas num arranjo. Por exemplo, numa pilha line array com 8 caixas de 3 vias cada, se uma só via deixar de funcionar o efeito pode ser imediatamente percebido.

Há algumas maneiras de se fazer esses testes. Se cada via de caixa acústica é individualmente energizada por um canal de amplificação, os testes consistirão em endereçar sinais separadamente para cada amplificador de modo a testar o transdutor. São dois os cuidados a tomar aqui. O primeiro e mais importante é manter nível tal que não ultrapasse a capacidade do falante em teste. Do contrário, o teste pode ser destrutivo. O que ninguém quer.

O segundo cuidado é formatar o sinal de modo que ele contenha apenas uma banda de oitava, situada bem dentro da faixa de trabalho do transdutor em teste.

Vou exemplificar isso com um sistema de 4 vias e que tenha os seguintes cortes: subwoofer – woofers: 80 Hz woofers – médios: 800 Hz médios – altas: 5.000 Hz Então, as oitavas do sinal de teste poderiam ser:

subwoofers	40 a 80 Hz
woofers	250 a 500 Hz
médios	2 a 4 kHz
altas	8 a 16 kHz

Entretanto, na maioria dos casos as vias não são energizadas por canais individuais. Ao invés disso, os falantes são ligados em paralelo e alimentados por amplificador capaz de lidar com cargas de impedância mais baixa, como 4Ω ou mesmo 2Ω. Quando a arquitetura do sistema é assim, a possível melhor maneira para testar as caixas ainda é gerar os sons acústicos como descrito acima. Contudo, agora precisamos considerar algumas possibilidades.

A primeira é que o som continua a ser ouvido como era antes. O que obviamente significa que tudo está correto.

A segunda alternativa é que o som não mais é gerado nem ouvido. Esse sintoma tem duas causas prováveis. Uma delas é que uma ou mais bobinas móveis dos falantes ligados em

paralelo tenham entrado em curto. Com o que, toda a ligação em paralelo como vista pelo amplificador é um curto-circuito. Nessas condições ou ele entre e colapso e para ou ele ativa seus circuitos de proteção que desligam a carga perniciososa.

De qualquer forma, essa alternativa sempre implica em riscos de provocar danos aos correspondentes amplificadores. A segunda alternativa é que todos os falantes combinados tenham tido suas bobinas móveis abertas. O que não põe em risco os amplificadores, mas implica em que o som não pode mais ser reproduzido por absoluta falta de falantes.

Como o objetivo aqui é identificar os problemas, nem vou me referir a como resolver essa questão.

Outra alternativa possível é que o nível de som tenha sido apenas atenuado. E porque isso acontece? Porque um ou mais transdutores tiveram suas bobinas móveis abertas, mas outros não. O resultado é que a impedância da combinação aumenta. E o amplificador passa a gerar menos potência, a qual é igualmente distribuída pelos falantes não danificados. De qualquer modo, essa situação quase que invariavelmente leva a uma redução da pressão sonora em relação ao que seria caso não houvesse nenhuma avaria.

É sempre possível medir as impedâncias das linhas de falantes e verificar se elas estão ou não dentro de seus valores normais, observadas as tolerâncias aplicáveis. Entretanto, se isso não estiver ocorrendo a chance é de que haja problemas a resolver.

O segundo modo de testar as caixas acústicas multivias é produzindo um nível de som padrão, que pode corresponder a um ou mais cenários em mixers digitais, para medir a pressão sonora num ponto físico do ambiente previamente determinado e com nível de pressão sonora conhecido para um dado conjunto de parâmetros definidos na fonte de som, mixer, processadores e amplificadores. Se o mixer não for digital, os ajustes serão obtidos por posições “default” de todos os controles de ganho e de atenuação da fonte de programa aos falantes a testar. Sem esquecer que o nível gerado pelo oscilador de áudio ou disco de teste, quando estes forem utilizados, também precisa ser controlado.

Neste ponto estou abandonando as caixas passivas e indo para as ativas.

Se elas não tiverem dispositivos DSPs, mas apenas e tão somente amplificadores, os testes serão parecidos com os das caixas passivas, apenas que ao invés de encaminhar sinais já amplificados, eles serão todos com nível de linha. Então os testes englobarão amplificadores e transdutores a um só tempo.

Se as caixas incluem DSPs de última geração e, ainda NICs protocolo Dante ou equivalente, é quase certo que haja rotinas de automanutenção e mais do que isso, que quaisquer situações que se aproximem de riscos sejam imediatamente reportadas. Os excessos de sinal, usualmente são combatidos por compressores e/ou limitadores. No caso fortuito de

haver aquecimentos acima de um determinado patamar, os DSPs podem aplicar reduções automáticas de ganho ou mesmo desligar temporariamente a amplificação para proteger os transdutores.

Um aspecto que recomendo sistematicamente para todos os meus alunos é que treinem seus ouvidos para que tais testes auditivos possam ser realizados apenas com os ouvidos. Sem medidores de impedância, sem medidores de nível de pressão sonora, sem computadores e sem mais nada. É ligar e testar.

Claro que ligado o sistema, os ouvidos devem ficar totalmente alertas e prontos para detectar anomalias em níveis e em respostas de frequência assim como um detector de metais localiza rapidamente uma pequena moedinha enterrada a meio metro. Acreditem, é educar os ouvidos e em muito pouco tempo eles estarão aptos para reconhecer eventuais desvios em relação aos resultados normais, obtidos com o sistema em perfeitas condições de operação.

etapa 9

Esta etapa é integralmente dedicada à monitoração, com exceção da monitoração feita no mixer, já tratada anteriormente.

Então, agora é a vez das caixas monitoras de palco, ativas ou passivas. Cujos testes seguem as linhas gerais discutidas antes para caixas acústicas. Passivas ou ativas.

O mesmo é aplicável à monitoração na cabine de frente da casa.

Itens que podem fazer parte dos testes desta 9ª etapa: • fones de ouvido utilizados para monitoração em palco • distribuidores de sinais para fones de ouvido • amplificadores pessoais e grupais para fones de ouvido • monitores pessoais a quaisquer títulos e monitores in-ear, com ou sem fio Há alguns sistemas que podem ser empregados para dar suporte à monitoração em palco, com mixers individuais ou mesmo com caixas acústicas convencionais.

Estou me referindo a sistemas como os produzidos pela Aviom A360, cujo modelo A360 é discutido no capítulo 4 e apresentado na figura 4.321, ou o Hearback Technologies, também tratado no mesmo capítulo 4 e apresentado na figura 4.322, entre muitos e muitos outros.

Portanto, todos esses equipamentos devem ser testados como parte da manutenção preventiva diária, incluindo os seus elos mais fracos, que são os cabos UTP/STP que eles usam como meio para transportar os sinais em formato digital.

etapa 10

Agora serão testados todos os itens não mencionados anteriormente. Então, esta etapa é uma espécie de popurri.

Os equipamentos a testar podem incluir: • distribuidores de áudio



figura 10.236 distribuidor de áudio RDL modelo ADA4D
cortesia Radio Design Labs • condicionadores de linha



figura 10.237 condicionador de linha e sequenciador SurgeX modelo SEQ20
cortesia SurgeX Safeguard Equipment • interfaces de áudio, quando houver



figura 10.238 interface de áudio Foscusrite, modelo Scarlett 2i4
cortesia Foscusrite • conversores AD e DA

• aparelhos multiefeito



figura 10.239 Lexicon modelo MX200

Sem sombra de dúvida o legendário Lexicon MX200 é um dos mais versáteis processadores de mercado. Desenhado para cumprir missões ao vivo e nos estúdios, este aparelho reúne algoritmos dos mais apreciados pelos usuários de todos os gêneros, incluindo que faz gravações para o mercado de audiófilos.

- fontes CC 24 volts
- relés
- trafos, como os utilizados nos sistemas 70.7 volts
- atenuadores, como os empregados em sistemas de som ambiente
- feedback destroyers



figura 10.240 o poderoso FBX da Sabine cortesia Sabine

- amplificadores de linha • mixers de linha
- acessórios de Ethernet Aqui entram itens como switchers, roteadores, cabos, *etc.*
- extensores de áudio

Extensores sobre cabos UTP/STP/fibra ótica, tanto na forma de unidades autônomas quanto aquelas que façam parte de outros extensores, como os de vídeo



figura 10.241 Gefen stereo audio extender S/R (até 300 metros) sobre cabos UTP

Nestes casos é fundamental fazer os testes incluindo os cabos UTP utilizados para ligar o emissor (S de send) ao Receptor (R de receive).

- **patchbays e patchcords** Os testes com os patchbays devem incluir todas as funções possíveis, levando-se em conta se as configurações de meio normal, jaque monitor, jaque monitor/meio normal ou normal completo.



figura 10.242 patchbay Audio Accessories modelo WQP-07-P-C-48-N-2 (2x48x2RU) cortesia Audio Accessories Todas as combinações de interligações devem ser testadas. O que se faz melhor se houver uma tabela orientando a sequência dos testes a fazer.

Do mesmo modo, todos os patchcords devem ser testados, o que pode ser feito com muita facilidade se estiver disponível no local um testador de cabos apropriado.

**figura 10.243** testador de cabos Pyle, modelo PCT60

- matrizes de áudio



figura 10.244 matriz de áudio estéreo, 24 entradas e 24 saídas, Extron modelo MAV Plus 2424A
cortesia Extron

Os testes das matrizes abrangem a verificação de todos os presets, que devem estar ativos e operacionais e, então, os testes de endereçamento. Ou seja, a primeira entrada pode ser endereçada individualmente para quaisquer saídas e, também, para quaisquer combinações de saídas. O mesmo prevalecendo para cada uma das outras entradas.

- Automixers



figura 10.245 automixer by Dan Dugan cortesia Dan Dugan Qualquer automixer oferece uma ampla variedade de recursos de programação. Pois bem, uma vez programados, esses presets devem ser testados um por um, até que todos tenham sido verificados.

- sistemas de conferências Os sistemas de conferência são cada vez mais utilizados, mesmo como parte integrante de sistemas de reforço de som. Dada o dilatado mercado desses produtos, tanto em termos qualitativos, quanto quantitativos, fica praticamente impossível estabelecer um pré roteiro aplicável a tão profuso universo.

Fica então a orientação de testar todas as funções mais relevantes do sistema de conferência utilizado e, se possível, testar literalmente todas as funções disponibilizadas.

- matrizes com processador digital de áudio



As matrizes equipadas com processadores digitais de áudio encontram inúmeras aplicações nos sistemas mais modernos de áudio profissional.

Há muitas marcas e modelos desses produtos, cada qual com seu próprio conjunto de recursos e alternativas de expansão, além das velocidades de processamento e engenhos de expansão de entrada e de saída.

A figura 10.246 mostra um dos modelos mais requisitados da marca bss, da Harman, que é o modelo London BLU-325.

etapa 11

A rigor esta não deveria ser uma etapa. E se fosse, seria a primeiríssima. Mas não quis entrar nisso até que tivéssemos discutido tudo o que tratado acima.

Estou me referindo ao planejamento.

Toda essa sequência de testes dificilmente pode ser realizada se não houver um roteiro estabelecendo o que fazer a cada momento. As linhas acima podem ser utilizadas como a base para a preparação de um roteiro como o sugerido.

É fundamental adaptar todos os pontos necessários, de maneira que o roteiro seja totalmente compatível com o sistema em questão.

É natural que sistemas maiores requeiram mais tempo para os testes do que outros, de porte médio ou pequeno. Quando esse é o caso e o tempo consumido torna-se inviável, é sempre possível distribuir todas as tarefas de testes da manutenção preventiva em dois ou mais dias.

O importante é que, uma vez estabelecido o roteiro, ele seja integralmente respeitado.

Os resultados de todos os testes diários ou periódicos devem ser sistematicamente registrados. Para o que sugiro um “log book” específico para essa atividade ou, se for preferível, um registro feito numa planilha Excel. Há duas grandes vantagens em se adotar o processo informatizado. A primeira é que torna-se muito mais fácil introduzir dados na planilha. Especialmente quando se acostuma a isso. A segunda vantagem é que as estatísticas podem ser produzidas com qualquer frequência desejada e com o grau de profundidade que melhor atenda às necessidades definidas.

10.7.2 MANUTENÇÃO PREDITIVA Acredito que não se pode classificar Manutenção Preditiva como ferramenta. Tampouco creio que ela é apenas uma técnica. E menos ainda uma certificação. Podemos categorizar melhor o termo “manutenção preditiva” como uma filosofia de trabalho. Que se vale das condições normais e regulares de operação de um dado sistema para derivar decisões fundamentadas em dados reais extraídos da operação normal desse sistema bem como da observação natural dos fatos relacionados com essa operação.

Tais decisões visam aperfeiçoar a qualidade global do sistema, incrementar sua produtividade e reduzir todos os custos pertinentes de maneira bem ampla.

A Manutenção Preditiva nada tem a ver com técnicas industriais que analisam vibrações e propõem análises químicas e espectrográficas de lubrificantes, pois está relacionada com o estabelecimento e controle de programas de gerência e de atitudes, programas esses baseados em dados reais de falhas e de variações de desempenho constatadas durante o funcionamento dos sistemas.

É nesses termos que uma estratégia de Manutenção Preditiva considera a manutenção como um conjunto de práticas que visam antecipar problemas através de prognósticos e de diagnósticos com vistas a prevenir e/ou postergar falhas.

O objetivo principal da Manutenção Preditiva é, portanto, prognosticar quando o equipamento poderá falhar e, adicionalmente, prevenir a ocorrência de falhas em virtude das recomendações de execução de serviços de manutenção em tópicos considerados mais vulneráveis.

A monitoração continuada, como a propiciada através das informações colhidas e registradas durante testes da manutenção preventiva, permite planejar mais detalhadamente os serviços de Manutenção Preditiva antes que os problemas venham a ocorrer.

Em condições ideais, a Manutenção Preditiva possibilita minimizar os serviços de manutenção e, ainda, evitar que os serviços de manutenção corretiva ocorram com a frequência que teriam sem a Manutenção Preditiva. O que significa economia dos dois lados. Isto é, com a redução das rotinas de testes da manutenção preventiva e com a redução que resulta nos serviços de manutenção corretiva.

Evidentemente, há inúmeras maneiras de predizer as falhas em sistemas. As técnicas escolhidas para cada caso devem ser muito eficazes e oferecer prazo com antecedência suficiente para que se tome medidas reativas e necessárias em caso de aproximação de falhas de quaisquer naturezas.

Algumas técnicas incluem análise dos resultados da gerência térmica implementada, a observação simples dos recursos de monitoração, audições críticas em condições reais e em condições controladas, como por exemplo a introdução de ruídos de fundo, as medições simplificadas de inteligibilidade e de índices de claridade musical, *etc.*

Escolher as técnicas adequadas para a monitoração condicional é importante, desde que os fabricantes envolvidos sejam consultados e estejam de acordo e, ainda, que consultores especializados em manutenção aprovelem as técnicas escolhidas e os roteiros de manutenção traçados.

Quando a Manutenção Preditiva é bem sucedida como estratégia de manutenção, os

serviços de manutenção corretiva são reduzidos a um mínimo. Isto significa redução de custos, por efeito de:

- redução dos períodos durante os quais o sistema está submetido a serviços de manutenção
- redução dos custos com mão de obra aplicada aos serviços de manutenção
- redução de custos com consumíveis, partes e peças sobressalentes

É preciso entender que não é possível eliminar totalmente os custos. Até porque algumas condições e técnicas de monitoração podem ter custo relativamente elevado. Outras podem requerer consultoria especializada e o concurso de pessoal altamente qualificado para analisar os dados e informações de modo a tornar todo o procedimento algo que realmente possa ser classificado como profissional.

10.7.2.1 prognósticos Do ponto de vista da engenharia, prognóstico é a disciplina orientada para estimar o momento em que um sistema e cada um de seus componentes não poderá mais cumprir sua tarefa original. Essa redução crítica de desempenho geralmente está associada a uma falha que impede a utilização do sistema ou que ele, mesmo operacional, não tenha mais as especificações mínimas desejadas ou aceitáveis.

Então, os tempos previstos são chamados VUR, acrônimo para tempo de Vida Útil Restante. Esse parâmetro é absolutamente importante no processo de decisões que visa reduzir os problemas de manutenção ao mínimo necessário.

Com efeito, os prognósticos podem antecipar a performance futura de um componente por avaliação da profundidade dos desvios e/ou do grau de deterioração por que passa um sistema, tendo como referência condições operacionais típicas e normais.

Todo o procedimento científico por trás dos prognósticos é lastreado na análise das falhas e na detecção prévia de indícios quase que imperceptíveis de desgastes e de sinais de envelhecimento, além de condições que possam indicar futuras falhas.

Os prognósticos mais eficazes parecem estar atrelados ao conhecimento dos mecanismos que produzem as falhas e dos motivos que provocam desgastes e erosões com potencial de acarretar falhas em componentes e/ou no sistema como um todo.

Eis porque dados prévios são muito importantes de sorte a constituir um banco de informações contendo possíveis falhas e problemas, bem como seus fatos geradores. Isso facilita muito a identificação dos parâmetros que devem ser monitorados. Os prognósticos também podem ser empregados para orientar a chamada manutenção condicional.

10.7.2.2 software

Importante ressaltar que a Manutenção Preditiva pode ser facilmente realizada com a ajuda de programas especializados, a exemplo do IBM Predictive Maintenance.

Quem desenvolve software para facilitar a Manutenção Preditiva usualmente parte do ponto de vista que essa manutenção é, em essência, o uso de dados e informações colhidas durante as etapas de monitoração para produzir valores analíticos que possibilitarão ao usuário planejar a manutenção com base em necessidades práticas e reais e não em rotinas. Ao mesmo tempo, quem pensa em propor o software como ferramenta imagina poder ajudar a otimizar o desempenho de um sistema de sorte que ele funcione mais eficazmente.

Se pensarmos bem haveremos de concordar que grandes volumes de dados podem se mostrar esparsos e difíceis de analisar. Portanto, os softwares visam sintetizar as informações e ressaltar apenas o que realmente importa. Escrutinizando dados em tempo real e análises históricas das condições de tarefas mais cruciais ajuda a compreender melhor o seu próprio sistema.

Assim, as rotinas arbitrárias acabam dando lugar a meios de implementar processos rápidos e objetivos de manutenção programada quando ela é mais necessária. É por essa razão que os desenvolvedores de software argumentam que eles podem ajudar a prolongar a vida útil dos equipamentos e a otimizar o controle do sistema de modo a manter elevada sua qualidade ao longo do tempo.

10.7.3 MANUTENÇÃO CORRETIVA Manutenção Corretiva é aquela executada para devolver ao Sistema suas características originais de desempenho. A interpretação mais comum de Manutenção Corretiva é que ela ocorre logo após uma falha catastrófica ou após uma falha de muita gravidade. Mas também é possível entender Manutenção Corretiva como os serviços que tornam-se recomendados por ações derivadas da monitoração feita em Manutenções Preventivas.

A Manutenção Corretiva que segue uma falha catastrófica pode ser ou não planejada.

A Manutenção Corretiva Planejada provavelmente resulta de uma estratégia conhecida como “run-to-failure”, que tem o sentido de permitir que o sistema funcione como um todo até que um equipamento apresente falha. Nesse ponto a Manutenção Corretiva é acionada. Por isso mesmo ela é considerada planejada. Mas também é a modalidade conhecida como Manutenção Reativa.

Já a Manutenção Corretiva não planejada pode ser disparada por uma falha que não foi possível prever ou evitar com a Manutenção Preventiva, ou mesmo em função de uma falha catastrófica que tenha sido a consequência de um programa de manutenção menos consistente. Outra forma de Manutenção Reativa.

A Manutenção Corretiva não planejada é usualmente muito mais cara e incômoda do que a Manutenção Corretiva planejada.

Portanto, a Manutenção Corretiva é focada em restabelecer as condições operacionais de um sistema enquanto ele não está em operação ou está em operação precária. As partes ou componentes defeituosos são totalmente restabelecidos com sua substituição integral ou através do reparo de peças afetadas.

Reparos de emergência tendem a custar de 5 a 10 vezes mais que os reparos planejados. Eis porque as estratégias de manutenção dão ênfase especial aos serviços de manutenção não reativos, que são de longe os mais caros. Outro motivo que encarece muito a manutenção reativa é que usualmente as falhas catastróficas tendem a ocorrer durante eventos.

Como ocorreu com o sistema de som na inauguração do estádio Beira-Rio na Copa do Mundo 2014, quando se enfrentaram as seleções de futebol da França e de Honduras, e o sistema não possibilitou quer os hinos desses países fossem reproduzidos para os espectadores. Aliás, esta foi a primeira vez que um sistema de som falhou durante uma Copa do Mundo. Se quiser mais detalhes sobre isso use o link: <http://globoesporte.globo.com/rs/copa-do-mundo/noticia/2014/06/problema-em-hinos-no-beira-rio-vira-piada-na-internet-naovaiterhino.html>

Acrescente-se a isso que o transporte de emergência é sempre muito caro do que os transportes regulares, feitos com tempo e, além disso, equipes de manutenção usualmente são “obrigadas” a trabalhar horas extras para fazer reparos de emergência.

10.7.4 OUTROS TÓPICOS DE MANUTENÇÃO

10.7.4.1 técnicas de administração A manutenção também pode ser entendida como uma combinação de técnicas de supervisão e de administração.

O intuito é manter o sistema em condições permanentes de operação e, quando isso não for possível, de devolver ao sistema suas plenas especificações operacionais.

10.7.4.2 escalões

É comum segmentar a manutenção em escalões, do seguinte modo: primeiro escalão

Conjunto de serviços primários de manutenção, os quais podem ser facilmente conduzidos por técnicos e mesmo operadores de sistemas profissionais de som, tais como executar o plano diário de manutenção Preventiva.

Tais serviços também incluem atribuições que não exigem elevado grau de especialização, como por exemplo a troca de fusíveis ou o reparo de cabos de microfones.

A limpeza técnica de todos os equipamentos também é atribuição que os operadores podem fazer com facilidade. Incluindo a troca de filtros das ventoinhas de todos os aparelhos que exijam essa função, principalmente amplificadores de potência e acessórios de ventilação dos

racks de equipamentos, quando esses forem equipados com filtros. O que é sempre recomendado.

A limpeza técnica abrange todos os equipamentos eletrônicos e todas caixas acústicas.

A limpeza de conectores poderá ou não ser feita pelos técnicos e operadores do sistema, desde que estes disponham de todas as ferramentas e acessórios, inclusive componentes químicos, para fazer a limpeza de forma rigorosamente profissional.

segundo escalão

Serviços que só em caráter muito ocasional devem ser conduzidos pelos técnicos e/ou operadores do sistema, quer por falta de instrumentos específicos, que por falta de ferramentas especializadas, quer por falta de conhecimentos mais profundos dos aparelhos e do sistema em questão.

terceiro escalão

Estes são serviços de manutenção corretiva que só podem ser efetuados pelos fabricantes dos produtos danificados, ou através das redes de assistência técnica por eles credenciadas para tanto.

Nesses casos, os serviços exigem muito conhecimento por parte dos mantenedores, além de ferramentas muito especializadas, de instrumental específico, a exemplo de jigas de testes e de instrumentação customizada para atender finalidades muito específicas.

10.7.4.3 a logística em foco O típico sistema profissional de áudio de porte médio utiliza uma grande variedade de equipamentos. São várias procedências, de muitas marcas e modelos. Aos quais é preciso adicionar cabos, conectores, computadores, partes de rede Ethernet ou redes Ethernet dedicadas com seus próprios equipamentos, racks, meios de suporte como grades, correntes, cabos de aço e todos os pertences e acessórios necessários, além de muitos outros e de grande miudeza de quinquilharias de instalação.

O integrador de sistemas profissionais de áudio é basicamente a empresa que projeta e instala sistemas profissionais de áudio, ou que apenas instala sistemas projetados por terceiros.

Portanto, além de todo aquele caleidoscópio de equipamentos, produtos e materiais, é preciso entender que os sistemas também possuem um forte ingrediente de serviços. Que não ficam limitados às montagens mecânicas e interligações elétricas, seguidos do alinhamento do sistema.

O içamento de itens como pilhas de caixas acústicas requer mão de obra altamente especializada, muitas vezes o concurso de especialistas em estruturas para emitir laudos técnicos e ARTs para assegurar que todos os cuidados estão sendo tomados, inclusive do ponto

de vista de segurança, sem falar em itens muitos especiais como talhas elétricas ou pneumáticas, subsistemas de sincronismos, *etc.*

Isto tudo para lhes dar uma noção de como um sistema de porte apenas médio pode ser complexo em sua constituição genética.

Mas ainda não é tudo. Com certeza você já sabe que o desempenho global do sistema também depende da qualidade do correspondente projeto eletroacústico. Se a gerência térmica foi relegada a um plano secundário, o sistema poderá ter sua confiabilidade seriamente afetada. Se o dimensionamento eletroacústico não foi feito, ou foi feito apenas “de raspão” – o que infelizmente é possível – os resultados finais poderão ficar comprometidos em maior ou menor escala.

Independentemente de tudo isso o cliente exige a garantia do sistema.

Se pensarmos um segundo veremos que nenhum cliente pode ou deve aceitar um amontoado de garantias esparsas, cada qual com seus próprios termos, além de diferentes garantias de serviços.

Compete, portanto, ao integrador resolver essa questão algo delicada, mas de fácil solução se os problemas forem bem equacionados.

O primeiro aspecto a observar é que a garantia de cada aparelho, seja ele qual for, é uma responsabilidade do fabricante, fornecedor ou representante no Brasil, no caso de itens importados. Por isso mesmo é fundamental que só sejam especificados produtos com garantias dada no Brasil e em termos muito bem definidos.

Do mesmo modo, os prestadores de serviço podem dar a garantia que bem entenderem, mas jamais em descumprimento à legislação vigente que deve ser integralmente observada. Isso como condições mínimas. Ou seja, a empresa integradora que confia em seu taco pode estender a garantia dada a seus serviços em relação ao que prevê a lei.

Então, equipamentos, materiais e serviços ficam cobertos por garantias.

Ocorre que para exercer a garantia de praticamente qualquer dos produtos de um sistema de porte médio, alguém precisa levar o produto avariado à oficina da rede de assistência técnica autorizada.

Isso tem algumas consequências, as quais geram custos.

A primeira consequência é que o item danificado terá que ser removido do sistema e levado à assistência técnica. Isso depois da empresa instaladora, ou outra por aquela indicada, verificar que o problema é mesmo caso que demanda Manutenção Corretiva a ser prestada pela assistência técnica autorizada.

Se o aparelho ou equipamento danificado tiver uma reposição a ser retirada do estoque estratégico de sobressalentes, o caminho será esse. A substituição enquanto o item defeituoso

será encaminhado para a Manutenção Corretiva. Caso contrário, e se o sistema deve permanecer operacional, uma das melhores alternativas é alugar por tempo determinado o produto danificado.

Evidentemente, a empresa instaladora deve fazer uma pesquisa para verificar e listar algumas locadoras que têm condições de atender à demanda criada. Mesmo que a solução não atenda integralmente, em geral é melhor que se tenha uma operação com restrições do que ficar com o equipamento fora de ação.

O item defeituoso deve ser transportado pelo integrador até a assistência técnica, sempre com seguros contra acidentes, roubos, furtos e incêndios, de sorte a assegurar a entrega ao mantenedor.

Então, depois de um certo tempo, em geral informado pelo mantenedor, este encaminha para o integrador um orçamento, incluindo o valor das peças a aplicar e da mão de obra.

Neste ponto o integrador deve consultar o cliente para obter deste a aprovação para a execução dos serviços, com base na informação do valor constante do orçamento.

Caso o cliente aprove, o integrador aciona a assistência técnica e autoriza o início dos serviços de reparo. Se possível, o integrador deve acompanhar esses serviços de modo a se certificar de que os prazos dados no orçamento serão cumpridos e, ainda, tentar obter da assistência técnica todos os elementos informativos para inserir na base de dados. A análise dessas informações também devem constar da base de dados.

Uma vez concluídos os serviços, a assistência técnica informa ao integrador. Convém que antes deste solicitar ao cliente que efetue o pagamento do valor ajustado para a assistência técnica, que algum especialista se desloque até a oficina para que esta mostre o aparelho funcionando. Esse detalhe pode evitar muitos aborrecimentos. É claro que o integrador deverá, então, solicitar ao cliente que efetue o pagamento correspondente à assistência técnica, declarando por escrito ao cliente o período de garantia oferecido pela assistência técnica para os reparos efetuados.

Uma vez feito o pagamento, compete ao integrador providenciar o transporte do item já reparado com uma provável nota fiscal de simples remessa além da nota fiscal dos serviços prestados, e do termo de garantia que, se não houver por escrito, pode ser feito pela assistência técnica de próprio punho.

O transporte deve ser feito como na ida. Ou seja, coberto de todos os seguros necessários e, com instruções suficientes para que a entrega seja feita no local certo, na hora ajustada e para a pessoa indicada para receber o produto. É claro que essa pessoa deverá ter sido previamente informada do item a receber, de que não é necessário fazer nenhum pagamento, *etc.*

Recebido o item em perfeitas condições de operação, há duas possibilidades. Na primeira, ele foi substituído anteriormente por item sobressalente do estoque estratégico de peças. Neste caso, o item reparado pode ir diretamente para o estoque estratégico, tornando-se ele próprio um item sobressalente. Ou, também poderá substituir o item reserva, o qual voltará para onde estava antes, que é o estoque estratégico.

Numa outra possibilidade o item reparado foi substituído por um equivalente, locado. Então, no momento da reinstalação é preciso acionar a empresa locadora para retirar seu equipamento e finalizar o período de locação.

A empresa integradora poderá, então, fazer os serviços necessários.

É claro que tudo isso gera custos. Os quais, em última hipótese devem ser pagos pelo cliente. Para que isso possa ocorrer sem grandes surpresas, o melhor a fazer é ter um contrato de manutenção assinado entre cliente e empresa integradora.

Todos os passos acima descritos devem ser minuciosamente detalhados no contrato, de forma a evitar situações ambíguas.

Um dos aspectos mais importantes em quaisquer contratos de manutenção é o SLA, ou Service Level Agreement. O termo refere-se aos prazos máximos que a empresa integradora deve cumprir para as tarefas de sua competência.

Por exemplo, imediatamente após a ocorrência de uma falha de certa gravidade. Quanto tempo a empresa integradora tem para atender ao chamado do cliente? Isso certamente vai depender do sistema em questão, do que ele atende especificamente, da frequência de seu uso, do grau de importância de tê-lo em funcionamento, *etc.*

Usualmente esse prazo está por volta de 2 (duas) a 12 (doze) horas em grandes cidades, como São Paulo, capital, prazo esse que começa a contar imediatamente após contato entre cliente e integrador. É fundamental que haja contato formal entre ambos, procurando-se evitar meios como e-mail e outros que não possam ser respondidos de imediato. Por isso, o telefone, mesmo celular, ainda é um meio totalmente aceito. As conversas havidas devem ser documentadas devidamente. Aí sim o e-mail é um recurso plenamente aceitável.

Todo e qualquer assunto tratado sobre manutenção deve ser devidamente estabelecido por escrito, sem prejuízo das conversas que visam acelerar os procedimentos.

Os horários mais comuns para a comunicação são os chamados horários comerciais. Outrossim, muitos sistemas operam em horários que não correspondem aos comerciais. Como arenas esportivas durante eventos e jogos de futebol, ginásios com eventos esportivos nos finais de semana, teatros e cinemas, casas noturnas, estações de metrô, aeroportos, trens, *etc.*

Em todos esses casos devem ser previstos dispositivos que permitam a comunicação entre cliente e integrador.

Muitas vezes é interessante que o integrador tenha um técnico de plantão nas instalações do cliente, de sorte que atendimento seja praticamente imediato. Certamente isso impõe um custo adicional. Mas cabe ao cliente decidir se o acréscimo de valor proporciona mais segurança e até que ponto esse aumento de custos é desejável.

Mantivemos contratos assim com vários de nossos clientes, sempre com resultados excelentes.

Por isso mesmo posso recomendar que essas sejam as linhas gerais para a elaboração de um contrato de manutenção corretiva.

Por certo que esse mesmo contrato pode prever visitas a períodos regulares que o integrador faz às instalações do cliente, visando monitorar pontos importantes de todo o processo de monitoramento operacional do sistema.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 11 **testes de sistemas**



Conteúdo do capítulo 11

11. TESTES DE SISTEMAS

11.1 INTRODUÇÃO

11.2 O PROCEDIMENTO PASSO A PASSO

11.3 PASSO 1 - PRÉ TESTES

11.3.1 Aparelhos Eletrônicos 11.3.1.1 Coleta de Documentos 11.3.1.2 Energização

11.3.1.3 Verificação de Funcionamento 11.3.1.4 Acuidade das Marcações 11.3.1.5

Integridade Mecânica e Acabamento 11.3.1.6 Conclusão e Reembalagem 11.3.2

Transdutores 11.3.2.1 Alto-falantes e Drivers de Compressão 11.3.2.2 Caixas

Acústicas e Cornetas 11.3.2.3 Microfones 11.3.3 Ferragem

11.3.4 Fios e Cabos 11.3.5 Material de Instalação e Miscelânea 11.3.6 Partes de

Sistemas 11.4 PASSO 2 - VERIFICAÇÃO DA INFRA-ESTRUTURA E TESTES DE

ENERGIA 11.4.1 Objetivo

11.4.2 Rede de Eletrodutos 11.4.3 Energia

11.4.3.1 Quesitos Desejáveis 11.4.3.2 Voltagem Nominal 11.4.3.3 Forma de Onda

11.4.3.4 Inversões, Curtos e Aberturas 11.4.3.5 Resistência para a Terra 11.5 PASSO

3 - TESTES DAS ETAPAS DE CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE CABOS 11

11.5.1 Instalação de Cabos 11.5.2 Confecção de Cabos 11.6 PASSO 4 - INSPEÇÃO E

TESTES DE EQUIPAMENTOS INSTALADOS

11.6.1 Bastidores

11.6.2 Aparelhos Eletrônicos em Geral 11.6.3 Ferragem

11.6.4 Alto-Falantes 11.6.5 Outros Itens 11.7 PASSO 5 - TESTES DE CONEXÕES

11.8 PASSO 6 - TESTES DE SISTEMA

11.8.1 Energização

11. TESTES DE SISTEMAS

11.1 INTRODUÇÃO

Frequentemente empregamos o termo instalação em seu sentido mais amplo. E com isso pretendemos evocar todas as diversas etapas de serviço necessárias à colocação de um sistema de sonorização em operação. Dessa forma, além dos serviços específicos de montagem mecânica, cabeação e outros, a instalação inclui os testes e do alinhamento de sistemas.

Este capítulo trata exclusivamente dos testes de sistemas.

O objetivo principal dos testes realizados na oficina da empresa instaladora, e em campo, é assegurar que todas as etapas da instalação tenham sido corretamente efetuadas.

O que é condição indispensável para se dar início ao alinhamento do sistema. Falhas e erros detectados devem ser corrigidos de imediato.

Assim como o projeto e a própria instalação do sistema seguem uma ordem lógica, o mesmo é aplicável a sequência de testes.

O procedimento de testes passo a passo é capaz de antecipar problemas que poderiam provocar erros de medida, e até de alinhamento.

A identificação prévia de problemas evita a repetição de tarefas e agiliza todos os serviços em campo.

11.2 O PROCEDIMENTO PASSO A PASSO

O procedimento passo a passo de testes é apenas uma sequência lógica.

Geralmente cada empresa elabora a sequência mais em linha com sua própria identidade. Entretanto, há várias coisas comuns nos testes, que independem de que empresa os está realizando.

De um modo geral, essa sequência é aplicável a todo e qualquer sistema. Mas se qualquer empresa pretende adaptá-lo a suas próprias condições, deve fazê-lo sem medo.

Após alguma prática os resultados deverão ser evidentes.

Os passos são:

• PASSO 1 - Pré testes • PASSO 2 - Verificação da Infra-estrutura e Testes de energia • PASSO 3 - Testes das etapas de confecção e montagem de cabos • PASSO 4 - Testes de instalação dos equipamentos • PASSO 5 - Testes de conexões • PASSO 6 - Testes de sistemas O primeiro passo é executado ainda nas oficinas da empresa instaladora, e independe de como a instalação será executada. O passo 2 já é executado em campo, antecedendo o início dos serviços de serviços de instalação. E os passos 3 a 6 também são executados em campo, e acompanham os demais serviços de campo.

11.3 PASSO 1 - PRÉ TESTES

Uma vez que o sistema tenha sido completamente montado em campo, a localização de qualquer pequeno defeito num de seus aparelhos ou interligações pode ser uma tarefa extremamente ingrata para qualquer equipe de instalação. Inclusive das muito bem treinadas.

Acima de tudo, esta pode ser uma atividade capaz de consumir muitas horas de trabalho. O que implica em aumento de custos de instalação, e eventualmente, atrasos nos cronogramas contratados. Com todas as correspondentes sequelas. Isso é aplicável tanto a falhas eletrônicas quanto a falhas mecânicas.

A probabilidade de ocorrência desses defeitos aumenta assustadoramente quando os aparelhos e demais componentes não são pré-testados pela empresa instaladora.

É verdade que os fabricantes de aparelhos eletrônicos só embalam seus produtos após rigorosos testes efetuados durante a etapa de controle de qualidade final.

Por outro lado, esses mesmos produtos deixam as fábricas e passam por condições críticas de armazenamento, de manipulação e transportes, para não falarmos das severas variações climáticas a que muitas vezes são submetidos.

Tudo isso sugere que, antes mesmo de ser embarcado e transportado para o local de instalação, todo e qualquer componente de um sistema seja devidamente pré-testado. Atividade que, salvo exceções, é de competência e responsabilidade única da empresa instaladora.

Em geral, os pré-testes são executados com equipamentos e materiais, nas oficinas da empresa instaladora. Por vezes, alguns clientes desejam acompanhar em fábrica a realização desses testes.

Os testes dos quais estamos falando devem ser desenvolvidos de modo que seja possível detectar defeitos, falhas, anomalias, avarias, e quaisquer outras condições anormais ou irregulares.

Por mais complexos que os pré-testes possam ser, a perda de tempo e os custos envolvidos justificam plenamente sua realização.

Pré testar itens de naturezas diferentes é uma tarefa múltipla. E para racionalizá-la, uma boa idéia é dividir os equipamentos e materiais em grupos, como segue: • aparelhos eletrônicos • transdutores e seus acessórios • ferragens

- fios e cabos

- material de instalação e miscelânea

11.3.1 Aparelhos Eletrônicos

Cada um dos aparelhos eletrônicos do sistema deve ser individualmente pré-testado.

11.3.1.1 Coleta de Documentos

Imediatamente após a desembalagem de cada produto, os manuais de usuário, os termos de garantia, folhetos e catálogos informativos, dados do fabricante, relação de endereços de assistência técnica, e demais documentos impressos, devem ser coletados e guardados para uso posterior.

Recomenda-se a guarda dos documentos numa pasta adequada, aberta exclusivamente para essa finalidade. Todos esses documentos farão parte da documentação técnica a ser entregue ao cliente.

As embalagens devem ser reservadas para uso durante o transporte, após os pré-testes.

11.3.1.2 Energização

Após a leitura de todos os manuais de usuário, cada aparelho deverá ser individualmente energizado. Isto é, ligado à rede comercial de energia CA, que deve ser confiável, e ativado através da chave off/on.

Os cuidados prévios com seletores de voltagem dos aparelhos são essenciais.

Aparelhos projetados para operar com mais do que uma só voltagem deverão ser energizados com todas as voltagens nominais para as quais foram projetados. É recomendável que isso seja feito apenas com variacs monitorados por volímetros CA. É sempre conveniente usar os variacs para operar os aparelhos dentro das faixas de voltagem especificadas como nominais.

11.3.1.3 Verificação de Funcionamento

Todas as funções e recursos de cada aparelho eletrônico deverão ser verificadas. Mesmo aquelas que, por absoluta casualidade, podem não

ser estar sendo utilizadas no sistema em questão.

Isso inclui todos os comandos e controles dos aparelhos.

Para tanto, uma boa idéia é ligar cada aparelho com fontes e cargas de modo que seja possível simular as reais condições de uso, como se fosse no sistema.

E a partir daí, utilizar um osciloscópio de duplo traço, com um canal monitorando a entrada, e outro a saída.

Como parte das funções, deverão ser verificados os recursos de monitoração, principalmente sinalizações acústicas e visuais, tais como leds e lâmpadas.

Ainda nesta etapa deverão ser testados todos os componentes eletromecânicos dos aparelhos. Como chaves, seletores, teclas, comutadores e outros. O objetivo é verificar a operação mecânica de cada item, que deve ser absolutamente normal, e as correspondentes respostas elétricas.

Esta é mais uma razão para a operação simulada.

Os potenciômetros rotativos e deslizantes constituem um caso à parte. Eles devem ser testados quanto ao grau de atrito durante seus movimentos, quanto a possíveis raspagens irregulares dos braços contra as bases, quanto à excentricidade dos eixos, ou o que é mais comum, a excentricidade dos knobs.

Tais falhas mecânicas são facilmente perceptíveis visualmente, e quando os problemas forem com os knobs, os reparos geralmente podem ser feitos de imediato.

Os movimentos dos knobs não devem provocar quaisquer ruídos audíveis. O que, se ocorrer, é razão para a rejeição do produto.

Aparelhos equipados com displays tipo LCD, ou outros, devem ter esses componentes testados para todas as suas funções informativas.

Acessórios que equipam aparelhos, como ventiladores, cabos extras, e controles remotos, deverão ser testados em condições de uso simulado.

Outro caso à parte são os recursos de proteção dos amplificadores, que deverão ser pré-testados quanto a sua eficácia. Dado o elevado potencial destrutivo destes testes, só é recomendável que eles sejam efetuados por profissionais habilitados e treinados para essa específica atividade.

Aparelhos digitais com recursos de programação e capacidade de memória deverão ser pré-testados para cada uma de suas funções de software, e se for o caso, de senhas de acesso.

11.3.1.4 Acuidade das Marcações Todas as marcações, como por exemplo sinais de início e de fim de curso de potenciômetros e atenuadores deverão coincidir com as correspondentes referências inscritas nos respectivos knobs. Uma vez que essas marcações geralmente se

destinam a uso visual, os testes também podem ser feitos do mesmo modo.

Já a acuidade das escalas e graduações, a exemplo de escalas de atenuação, deverão ser avaliadas com instrumentos.

Nesta etapa dos pré-testes, e ainda com instrumentos, também devem ser examinadas as informações e referências de medidores VI, de medidores de pico, leds informativos de sobrecarga e sinalizações de limites em geral.

11.3.1.5 Integridade Mecânica e Acabamento A integridade mecânica de cada produto está relacionada com a ausência de amassados nas chapas laterais, superior e inferior, painéis frontal e posterior, além de alças, dissipadores, pés e acessórios metálicos e/ou plásticos, como controles remotos.

A pintura deverá estar absolutamente isenta de riscos e imperfeições.

A serigrafia deve ser de qualidade, sempre homogênea, legível, e com contraste adequado.

Os cabos de energia CA devem estar intactos, sem marcas, falhas ou sinais de desgaste. A tomada de energia deve ter a aparência de produto novo e sem uso. Jamais caia na besteira de cortar o terceiro pino da tomada, numa tentativa de conseguir a ligação em receptáculos de dois contatos. O ideal é usar um receptáculo de três contatos. E se isso não for possível, use um adaptador, tomando o cuidado de aterrar a carcaça do aparelho em teste.

11.3.1.6 Conclusão e Reembalagem A conclusão dos testes pode ser resumida na forma de tabela, na qual todos os aparelhos eletrônicos são relacionados, e designados por seus números de série.

Os correspondentes testes havidos devem estar claramente indicados, bem como seus resultados.

A empresa instaladora deve providenciar a substituição de quaisquer aparelhos que tenham apresentado falhas ou desvios de características.

Uma vez concluídos os testes, os aparelhos aprovados devem ser reembalados em suas embalagens originais, para tanto reservadas anteriormente.

O processo de desembalagem, coleta de documentação impressa e reembalagem é aplicável a todos os demais produtos, dos quais estaremos falando nos itens 11.3.2 a 11.3.6.

11.3.2 Transdutores
11.3.2.1 Alto-falantes e Drivers de Compressão Antes de liberar alto-falantes e drivers de compressão reembalagem, e para transporte, ao menos os seguintes testes devem ser efetuados: • inspeção visual prévia para detecção de falhas ou sinais de ruptura nas superfícies dos cones, falhas mecânicas nos contatos elétricos terminais, irregularidades nas

suspensões externa (borda) e central (aranha), excesso de cola nas juntas, excentricidade dos guarda-pós e outros • medição da magnitude da impedância x frequência • comparação das figuras levantadas para unidades semelhantes, a fim de se estabelecer o grau de similaridade entre as peças • inspeção visual de falhas mecânicas em furos e roscas dos drivers

11.3.2.2 Caixas Acústicas e Cornetas

Além dos testes anteriores, aplicáveis a caixas acústicas completas, uma inspeção visual detalhada é aconselhável, inclusive, quanto aos pertences destinados a fixação mecânica dos produtos.

Kits projetados para manter as caixas fisicamente suspensas por cabos ou ferragens também devem ser cuidadosamente inspecionados.

O acabamento e a pintura devem ser examinados com detalhes.

Efetuar os pré-testes de “buzzes”, chocalhos e demais ruídos que possam indicar falhas estruturais do madeiramento, falta de rigidez mecânica e outros, é fundamental.

As roscas das gargantas das cornetas também devem ser examinadas.

11.3.2.3 Microfones

Os testes com os microfones podem se restringir aos aspectos operacionais e exame de acabamento.

Para os testes operacionais, basta ligar os transdutores a pré-amplificadores, por sua vez ligados a amplificadores e caixas acústicas de testes, e observar seus resultados.

O exame do acabamento abrange o próprio transdutor, seus acessórios e até embalagens, uma vez que, na maioria das vezes, estas são preservadas pelos clientes.

Todas as especificações dos microfones, como discutido no capítulo 4, também poderão ser verificadas, o que dependerá essencialmente do critério da empresa instaladora.

Quando houver substituição de produtos por outros, julgados equivalentes, é sempre recomendável que essas especificações sejam medidas.

11.3.3 Ferragem

Toda a ferragem utilizada nos sistemas deve ser cuidadosamente inspecionada. Aí incluídos os conjuntos de peças de apoio, suportes, fixações, e outras empregadas a quaisquer títulos.

A inspeção não se refere só aos produtos típicos, como também à concordância com o que estabelece o projeto.

Materiais de ferro devem ser verificados quanto ao tratamento superficial e quanto ao acabamento. Inclusive racks, acessórios, e até parafusos, porcas e arruelas.

11.3.4 Fios e Cabos

Os cabos devem ser inspecionados no que se refere ao acabamento exterior, qualidade da jaqueta isolante, comprimentos, cores, e o mais importante, quanto às

bitolas especificadas.

Quando os cabos forem montados nas dependências da empresa instaladora, antes do início efetivo dos serviços de instalação, os testes descritos no subitem 11.5.2, adiante, também deverão ser executados como pré-testes.

11.3.5 Material de Instalação e Miscelânea Todos os demais materiais utilizados no sistema devem ser inspecionados. É o caso de conectores de quaisquer tipos, borneiras, terminais, barras e barramentos elétricos, alças de nylon, marcadores de cabo, e até mesmo de pequenos itens miscelâneos.

11.3.6 Partes de Sistemas Vimos que muitas vezes é conveniente montar os bastidores com todos os seus equipamentos em oficina, ou em laboratórios, antes mesmo de enviá-los para o local de instalação.

Quando esse for o caso, vários dos testes adiante mencionados também serão aplicáveis.

Para bastidores pequenos, e mesmo médios, pode ser interessante transportar os mesmos já montados, o que exige precauções especiais, principalmente quanto ao travamento dos aparelhos. Isso dá origem a tecnologia específica, que algumas empresas dominam, outras não.

Quando isso não for possível, ao menos o bastidor poderá ser transportado já cabeado, o que já significa economia em campo.

11.4 PASSO 2 - VERIFICAÇÃO DA INFRA-ESTRUTURA E TESTES DE ENERGIA Estas já são atividades executadas em campo.

11.4.1 Objetivo No Brasil, a idéia de ter que pagar por um projeto de sistema de sonorização ainda é considerada por muitos como uma forma de desperdício.

Algo que se evitado só trará vantagens e economia.

A prática de muitos anos continua a nos mostrar que isso é um erro grosseiro de avaliação. Por sinal, dificilmente cometido nos países mais evoluídos.

E sem projeto, conflitos e dificuldades técnicas surgem nos momentos mais inoportunos.

Geralmente quando não há mais tempo ou disposição para pensar em soluções realmente adequadas e definitivas. Ao mesmo tempo, premidas pelo pouco tempo então disponível, situações normalmente inaceitáveis são empurradas goela abaixo do cliente e da empresa instaladora. Com prejuízos muitas vezes maiores do que os comparativamente baixos preços do que poderiam ser os projetos que, certamente, evitariam praticamente todos esses aborrecimentos.

Mas nosso objetivo agora não é exatamente discutir essa questão, mas sim algo que dela

resulta. O fato de que, olhando para suas conveniências, há diversas formas pelas quais os clientes podem contratar um sistema de sonorização profissional.

Usualmente, sem qualquer projeto, as empresas integradoras de áudio são contratadas para implantar um sistema que atenda a um conjunto de necessidades.

Nesses casos, a empresa contratada pode ou não ser solicitada para prestar sua contribuição quanto à construção da infra-estrutura. Quando, então, a colaboração toma a forma de sugestões gerais, geralmente não seguidas de qualquer acompanhamento.

O que é natural, pois essa é uma atividade que custa e implica em responsabilidades.

Outras vezes, a empresa integradora é contratada para executar um projeto elaborado por alguém mais. Que pode ser ou não um bom projeto.

Quando o projeto não é bom, geralmente a infra-estrutura ou não faz parte dele, ou é tratada sem o devido cuidado. No primeiro caso, do ponto de vista de infra-estrutura, tudo se passa como se não houvesse projeto. No segundo, a coisa é ainda pior. Porque usualmente todos supõem que a infra-estrutura seja um assunto resolvido, o que não é verdadeiro. E esta verdade só acaba vindo à tona muito tarde.

Nos casos dos melhores projetos, o assunto infra-estrutura é tratado com seriedade. E se a correspondente construção segue a receita, nesse sentido os resultados tendem a ser de qualidade.

Raramente o pacote inteiro é confiado a uma empresa integradora. Mas isso acontece. Um pacote completo pode englobar a elaboração de todo o projeto, aí incluída a infra-estrutura, e muitas vezes a infra-estrutura para energia técnica dedicada, e na sequência, a execução total do projeto.

Numa contratação “turnkey” como essa, a empresa contratada sempre saberá muito bem em que condições a infra-estrutura foi ou está sendo construída, o que dispensa verificações.

Mas em regimes de contratação cada vez menos abrangentes, essa situação é progressivamente menos verdadeira.

Muitas vezes ocorre que essa menor abrangência tem uma razão de ser.

Por exemplo, em obras em andamento, geralmente há vários outros projetos caminhando junto com o de sonorização, ou até a sua frente.

Assim, a empresa contratada para a sonorização pode ser dispensada de construir a infra-estrutura para a energia técnica dedicada, e também, a infra-estrutura para a fiação geral do sistema, que desde o princípio já havia sido confiada a uma empresa de instalações gerais, responsável pela construção da infra-estrutura de outros sistemas, como a elétrica, a iluminação, a telefonia, alarmes, sistemas de segurança e de controle, e outros tantos.

A menos que a empresa instaladora do sistema de sonorização tenha absoluta confiança de

que conhece muito bem a infra-estrutura construída para o sistema que vai instalar, é de todo recomendável uma ou mais visitas ao local de instalação para verificar toda essa parte com muito cuidado.

Do contrário, no caso de surgirem problemas, independentemente de quem tem ou não razão, as discussões tomarão o lugar dos serviços, que poderão ter que ser paralizados, com prejuízos para as duas partes.

Portanto, não se sentindo conhecedor da infra-estrutura, não se acanhe em **exigir** a vistoria. De preferência, inclua isso em sua proposta comercial, como parte de suas condições.

E jamais pense que essa é uma atitude unilateral. Pois na verdade, o que ela é, de fato, é uma atitude terrivelmente profissional. E se você não for entendido, não se lamente. Tenha a certeza de que fez o que deveria. E provavelmente terá evitado o pior para você e para sua empresa.

O único objetivo aqui é ter a certeza de que a execução da instalação será perfeitamente possível nos moldes previstos, e que não será paralisada após ter sido iniciada por problemas de infra-estrutura. E ainda, evitar que sejam utilizados eletrodutos errados em material ou bitola, suprimento de energia insuficiente, e outros.

É sempre prudente documentar cada uma destas visitas ao cliente, bem como os resultados e conclusões havidos.

11.4.2 Rede de Eletrodutos Quer a construção da rede de eletrodutos tenha sido orientada por um projeto, ou por recomendações, ou ainda, quer a intuição de alguém tenha sido responsável por ela, a empresa instaladora deve se assegurar de que todos os eletrodutos necessários estão lá.

As bitolas devem ser as corretas, e em casos de reduções de bitolas, as luvas utilizadas devem ser as apropriadas. Naturalmente tudo deve estar convenientemente instalado.

Os materiais com que são fabricados os eletrodutos e pertences também devem ser adequados. Eletrodutos plásticos só são aceitáveis para instalações subterrâneas, e mesmo assim, com envelopamento em concreto.

Eletrodutos destinados a cabos que portam diferentes níveis de sinais devem estar fisicamente separados. Assim, a empresa instaladora não pode aprovar a idéia de passar cabos de linhas de microfones e quaisquer outros num mesmo eletroduto.

Também devem ser observados os máximos comprimentos físicos horizontais e verticais sem caixas de passagem, e a quantidade máxima de curvas por trecho de eletroduto.

Como os eletrodutos, todas as caixas terminais, de passagem, de inspeção, de manobra, de derivação, e outras que façam parte da rede de eletrodutos, deverão ser construídas com os

materiais adequados. Seus tamanhos deverão estar de acordo com as respectivas funções. E as profundidades deverão ser suficientes.

Atenção especial para os acabamentos dados às caixas, particularmente para aquelas que ficam aparentes ao nível do piso ou de paredes.

Os espelhos devem ser verificados cuidadosamente. Principalmente os que receberão conectores.

De um modo geral, os aspectos construtivos deverão refletir cuidados básicos e critérios de engenharia, no mínimo elementares.

Nenhum eletroduto deverá estar terminado em caixas infra-estruturais sem as luvas de acabamento.

Finalmente, todos os eletrodutos deverão possuir guias de arame.

Para melhor se situar com relação às exigências de redes infra-estruturais, recomendo a leitura completa do capítulo 14.

11.4.3 Energia

11.4.3.1 Quesitos Desejáveis Não se deve energizar qualquer equipamento antes que testes básicos sejam efetuados com o suprimento de energia. De fato, esta é a única maneira de se verificar que as condições do suprimento de energia pré-estabelecidas foram alcançadas. Mas estes testes também permitem constatar eventuais anomalias de suprimento.

Sem informações, e sem condições preestabelecidas, recomendo que os seguintes quesitos sejam adotados como desejáveis:

- a voltagem deve ser a nominal, com variações máximas de $\pm 5\%$. No caso de variações para menor ou para maior em relação à tolerância, e de ultrapassagens, a saída é usar um regulador de voltagem
- a forma de onda deve ser limpa e isenta de ruídos. Ou pode ser necessário usar condicionamento de linha
- não deve haver qualquer inversão de fiação entre condutores fase, neutro e terra
- os condutores neutro e terra não podem aparecer ligados juntos
- a resistência do caminho para terra deve ser suficientemente reduzida
- a energia deve ser CA

Este último aspecto pode chamar a atenção dos leitores por ser óbvio ao extremo. Afinal, é claro que a energia fornecida deve ser CA. Mas por trás desse óbvio há várias armadilhas.

Nas regiões mais antigas das cidades, por exemplo, onde os sistemas de distribuição de energia são mais antigos, há probabilidade de presença de fortes componentes CC, o que se pode detectar facilmente com qualquer osciloscópio.

Por vezes, “extensões” são obtidas de pares de fios desconhecidos, como os que caminham por poços de elevadores, usualmente portando energia CC.

O teste para avaliar esta última condição é bastante simples. Exige apenas uma pequena

lâmpada neon. Se a energia for CC, apenas um dos dois eletrodos se acenderá. Com energia CA ambos estarão acesos.

11.4.3.2 **Voltagem Nominal** A medição de voltagem pode ser feita com um voltímetro CA, ou com um osciloscópio, sempre entre fase e neutro.

Mas não é só. Também se deve medir a voltagem entre o eletroduto metálico - se for o caso - através do qual chegam os fios à tomada, e o terminal terra. Esta última leitura deve indicar 0 volts. A seguir, mede-se a voltagem entre o mesmo eletroduto e o terminal neutro. A leitura deve estar entre 0 volts e poucos décimos de milivolts, no máximo.

Variações de voltagem nominal além de $\pm 5\%$, e valores diferentes dos acima mencionados indicam problemas que devem ser resolvidos pelos eletricitistas. **Antes** que o sistema seja energizado.

11.4.3.3 **Forma de Onda** Com o auxílio de um osciloscópio é possível monitorar a forma de onda proveniente de qualquer ponto de energia CA.

Uma senóide perfeita e consistente ao longo do tempo indica ausência de ruídos. Se este não for o caso, a anomalia deve ser corrigida.

11.4.3.4 **Inversões, Curtos e Aberturas** O testador CA, modelo TRC-2, fabricado pela GE americana, é capaz de revelar que a fiação da tomada está correta dentro dos limites de teste, ou que apresenta um ou mais entre os seguintes problemas: • terra aberto

- polaridades invertidas • neutro aberto
- fase ligada no terminal neutro, com neutro aberto • fase e terra invertidos

11.4.3.5 **Resistência para a Terra** A empresa Woodhead Co., de Chicago, distribui os medidores GLIT, para Ground Loop Impedance Tester.

O instrumento promove um curto-circuito controlado na linha CA, isto é, por exatos 40 milissegundos, tempo insuficiente para acionar fusíveis ou disjuntores.

Durante o curto, o instrumento mede a impedância do elo, apresentando o resultado num displêi com retenção.

Para circuitos de 15 ampères, o valor medido, usualmente entre 0,5 e 1,5 ohms, pode revelar problemas de elevadas impedâncias. Nesses casos, os problemas também devem ser resolvidos pelos eletricitistas.

11.5 PASSO 3 - TESTES DAS ETAPAS DE CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE CABOS

11.5.1 **Instalação de Cabos** Uma vez instalados os cabos, isto é, passados, mas ainda não

conectorizados, deve-se fazer uma cuidadosa inspeção preliminar, especialmente nas curvas, saídas e entradas das caixas metálicas de entrada, de saída, de passagem, de manobra, e outras.

Devemos nos certificar que nenhum cabo está sujeito a raios de curvatura inferiores ao mínimo especificado pelo fabricante.

Do mesmo modo, nenhum cabo deve estar excessivamente comprimido ou raspando em superfícies capazes de danificá-los.

Tudo isto também é aplicável a chicotes.

Neste caso, deve-se ainda inspecionar a forma de amarração e de fixação de todos os grupos de cabos.

11.5.2 Confeção de Cabos Há cabos que podem ser confeccionados nas oficinas da empresa instaladora, e depois levados para o campo. Quando esses cabos são pré testados, podem ser diretamente aplicados ao sistema.

Entretanto, a maioria dos cabos usados no sistema é geralmente confeccionada no próprio local de instalação.

Como as linhas de microfones e os cabos que interligam amplificadores a caixas acústicas.

Confeccionar cabos em campo envolve medir o comprimento necessário, identificar os cabos e soldar conectores em suas extremidades.

Cada cabo deve ser testado imediatamente após sua confecção. Todo e qualquer cabo só pode ser considerado montado após execução bem sucedida dos seguintes testes: • medição do comprimento final do cabo, que deve estar em conformidade com a necessidade previamente determinada em documentos • inspeção visual das identificações feitas nos cabos, que deverão estar sempre de acordo com a documentação e/ou projeto, e diagramas de fiação, além de apresentar acabamento impecável • inspeção visual das ligações feitas nos conectores • teste de continuidade de cada uma das vias condutoras, inclusive blindagem, quando aplicável • teste de curto-circuito entre as vias condutoras • teste de que as pinagens dos conectores estão corretas nas duas extremidades Cada vez que um conector é substituído, ou simplesmente ressoldado, devem ser refeitos todos os testes relacionados acima.

Há diversos dispositivos e instrumentos que podem ser facilmente construídos, capazes de acelerar consideravelmente os testes dos cabos.

Apenas a título de exemplo, apresento na figura 11.1 a circuitação do testador de cabos de microfone modelo DL-CT-1, construído pela Cysne Sound Engineering, bem como correspondentes informações de leitura de testes.

mecânicas nos movimentos, nem dificuldades para retirá-las ou recolocá-las. Nem problemas mecânicos com as travas. Se houver qualquer anomalia, proceda aos ajustes necessários • verifique que todos os acessórios especificados tenham sido instalados. Destes, merece destaque o sistema de refrigeração que, se houver, deve ser testado operacionalmente • verifique cuidadosamente a aparência externa dos bastidores. A pintura deve estar intacta, sem riscos e sem marcas. O mesmo é válido para perfilados metálicos pintados ou anodizados. Superfícies de vidro ou de acrílico, normalmente protegidas com plástico adesivo, devem estar isentas de arranhões e de marcas em geral • inspecione todas as borrachas de vedação e de acabamento. Elas devem estar em seus lugares, sem sinais de descolagem ou de ressecamento. Retoque ou substitua tudo o que for necessário • inspecione todos os parafusos, que devem estar devidamente apertados, e incluir arruelas e/ou arruelas de pressão onde necessário • finalmente, os bastidores devem estar em posição rigorosamente vertical, o que fácil conferir com um fio de prumo, ou com uma bolha de nível equipamentos

- todos os aparelhos montados nos bastidores devem estar rigorosamente dispostos como indicado nos planos de face documentados. Inclusive pequenos itens eletrônicos, passivos ou ativos, não fixados por painéis 19”

- todos os cabos de interligação devem estar passados e plugados nos aparelhos • todos os cabos de energia provenientes dos aparelhos devem estar plugados nas réguas de tomadas, nas ordens previstas na documentação de instalação • todos os cabos de aterramento devem estar passados e devidamente ligados no ponto central de aterramento de cada bastidor • verifique se todos os cabos estão localizados em suas posições definitivas, divididos por chicotes correspondentes a grupos de mesmo nível de sinal, e que os chicotes estão devidamente amarrados. Tudo como previsto na documentação • confira a aparência interna geral de cada bastidor, e arrume o que for preciso para obter um resultado estético agradável, limpo e profissional 11.6.2 Aparelhos Eletrônicos em Geral Agora é o momento de uma verificação mais detalhada a ser feita nos aparelhos eletrônicos já instalados, que devem ser inspecionados quanto à sua montagem nos bastidores.

- como disse antes, os aparelhos devem ter sido montados exatamente de acordo com os respectivos planos de face • deve-se verificar que a montagem tenha sido feita de modo que todos os aparelhos fiquem bem aprumados, horizontal e verticalmente. As fixações devem estar mecanicamente sólidas e firmes, especialmente a dos aparelhos mais pesados, nas quais são utilizados trilhos laterais de apoio. As ligações ou isolações elétricas associadas a estas fixações devem estar exatamente de acordo com a

documentação e/ou projeto • os painéis dos aparelhos montados nas faces frontal ou traseira dos bastidores devem estar protegidos com arruelas de nylon, interpostas entre os próprios painéis e as arruelas, para preservar intacta a pintura ou anodização dos mesmos • aparelhos instalados fora dos bastidores, como consoles de mixagem, devem estar adequadamente localizados e isentos de agentes contaminantes

11.6.3 Ferragem

Depois de instalada, toda a ferragem deve ser inspecionada com muito cuidado.

Essa inspeção é dupla.

De um lado, verificam-se os acabamentos, e em especial os tratamentos de superfície. Que não devem ter sido danificados durante os serviços. Quaisquer falhas devem ser retocadas.

Se preciso, substitua as peças afetadas.

O segundo aspecto a ser inspecionado é mais importante do que o anterior. Trata-se da segurança das partes de fixação, particularmente o que se refere a estruturas e cabos de aço que suportam caixas acústicas em lugares elevados. Essa inspeção é ainda mais importante quando amplificadores montados em bastidores são instalados suspensos, junto com as caixas acústicas.

11.6.4 Alto-Falantes

Alto-falantes, caixas acústicas e cornetas/drivers de compressão devem ser inspecionados quanto à segurança de sua fixação, quanto ao alinhamento mecânico e elétrico das unidades transdutoras, e também, quanto ao correto direcionamento. Que deverão estar sempre de acordo com o projeto.

Inspecione cuidadosamente os seguintes aspectos de cada alto-falante, caixa acústica ou corneta:

- polaridade da fiação (o condutor + deve estar ligado ao terminal + do falante)
- meça e anote a impedância (módulo) de cada falante e caixa acústica, ou grupo deles, alimentado por um mesmo circuito de amplificação
- aplicando diretamente a cada caixa acústica um sinal de teste provido por gerador de áudio seguido de um amplificador de teste, verifique a existência de eventuais buzzes, chocalhos e outros ruídos indesejáveis

11.6.5 Outros Itens

Todo e qualquer material empregado no sistema deve ser inspecionado ao final da respectiva instalação.

Portanto, não se pode esquecer de materiais julgados acessórios, como conectores diversos, borneiras, terminais, barras e barramentos elétricos, e inúmeros outros itens diversos.

O mesmo aplica-se aos materiais empregados nas caixas terminais, bem como respectivos acabamentos obtidos.

Quaisquer aspectos visuais inadequados devem ser corrigidos imediatamente após a constatação.

11.7 PASSO 5 - TESTES DE CONEXÕES

Uma vez efetuadas as conexões elétricas, sempre de acordo com a documentação e/ou projeto, é hora de fazer os testes preliminares.

A primeira parte dos testes é verificar cuidadosamente que cada cabo interligando qualquer aparelho a outro é mesmo o correto. Isto é, sua identificação deve conferir com o previsto para aquela interligação. Nas duas extremidades.

Mas também é preciso conferir que cada saída de aparelho e entrada do seguinte são as corretas.

Os testes elétricos serão feitos adiante. Agora é hora da inspeção voltada para os aspectos mecânicos.

Portanto, cada conector deve ser inspecionado quanto ao aspecto visual, e quanto ao encaixe mecânico, inclusive recursos de travamento. Conexões parafusadas também devem ser verificadas.

Uma das verificações mais esquecidas é a dos alívios de cabos.

Todos os cabos que saem ou entram em conectores devem estar tão aliviados mecanicamente quanto possível. O que significa que eles não podem exercer peso sobre os conectores, uma vez que esses mesmos pesos seriam transferidos para os contatos, com prejuízos em graus variáveis a médio prazo.

11.8 PASSO 6 - TESTES DE SISTEMA

Este é o mais importante dos passos de teste, e também, o que exige maior trabalho e mais cuidado.

O objetivo aqui é apenas um. Verificar que os sinais introduzidos em cada uma das entradas do sistema estão sendo reproduzidos pelos alto-falantes, passando por todo o encadeamento de áudio.

11.8.1 Energização O que queremos realmente, numa primeira etapa, é avaliar o fluxo dos sinais pelo sistema. E isso começa com a energização.

Antes de energizar pela primeira vez um sistema, é preciso que se tenha um mínimo de precauções básicas, independentemente de quaisquer outros testes realizados anteriormente.

Entre essas precauções, as seguintes são mais importantes:

- medição da voltagem da rede de energia CA
- reconferência de toda a cabeaço de força dos aparelhos, com o intuito de verificar que todos eles estão ligados à rede de energia
- reconferência de que todas as chaves seletoras de voltagem dos aparelhos estão na posição correspondente à voltagem nominal da rede de suprimento de energia
- reconferência de toda a cabeaço de interligação entre os equipamentos, objetivando assegurar que tudo está em conformidade com o diagrama de blocos
- neutralização do sistema

A neutralização do sistema é feita em duas fases elementares.

A primeira, menos importante, é neutralizar a ação de todos os processadores de sinal do sistema, sejam eles aparelhos independentes ou parte de outros aparelhos.

Exemplos de processamento que integram um aparelho que não um processador de áudio convencional, são os equalizadores dos canais de uma console de mixagem.

A neutralização é obtida através da movimentação dos controles de cada aparelho, que deverão permanecer em suas posições neutras. Ou seja, não acionando os correspondentes processamentos.

A segunda fase, mais importante, é zerar todos os atenuadores e controles de ganho do sistema. Se pensarmos nos mixers, isso é aplicável aos ganhos de entrada e pads de todos os canais, aos controles de quaisquer mandadas de todos os canais, as faders de todos os canais, aos faders principais de todos os subgrupos e saídas masters, além de masters de saídas foldback, de monitores, e naturalmente, dos faders das saídas masters principais L e R, e canal central, quando for o caso.

Além disso, todos os canais e subgrupos deverão estar neutralizados com relação ao endereçamento. Isto é, não deverão estar endereçados para absolutamente nada.

Todas as fontes de programa dotadas de controle de nível de saída deverão estar com esses controles em posição de máxima atenuação.

Do mesmo modo, todos os processadores de sinal deverão estar com seus controles de nível de sinais de entrada e de saída zerados. Que é a posição totalmente anti-horária para controles rotativos, e a posição totalmente inferior ou à esquerda para controles deslizantes.

Quanto aos amplificadores, todos os atenuadores de entrada também deverão estar em posição de máxima atenuação.

Isso é tão importante que por si só justifica a não utilização de amplificadores desprovidos de atenuadores em sistemas profissionais.

Observados essas precauções preliminares, inclusive a neutralização do sistema, é hora de energizar o sistema.

Vamos tomar como base o sistema cujo diagrama de blocos é o da figura 6.62 do capítulo 6.

Como para qualquer outro sistema, a energização só pode ser feita no mesmo sentido do fluxo de sinais. Isto é, progredindo das fontes de programa para os amplificadores.

Uma regra geral de sequenciamento para a ligação dos aparelhos de um sistema, que pode ser observada com pequenas variações, é: • as fontes de programa • a seguir, ligar os mixers • ligar então todos os processadores de sinal • finalmente, ligar os amplificadores Seguida essa regra, já teremos o sistema energizado.

A razão se ser dessa sequência é que, se os amplificadores fossem ligados antes de outros aparelhos que os antecedem na cadeia de áudio, eles estariam sujeitos a receber e processar os ruídos e cliques frequentemente produzidos com a ligação de chaves off/on de quaisquer dos aparelhos ligados depois deles.

E a amplificação desses ruídos pode facilmente danificar os falantes. E quando é o caso, é algo que, com razão, é sempre considerado uma falha grave de operação.

11.8.2 Ruídos Espúrios nos Falantes e Caixas Acústicas Uma vez que o sistema tenha sido energizado, e ainda na condição de neutralizado, não deve haver qualquer tipo de ruído nas caixas acústicas. Se houver, os testes não devem prosseguir.

Ao invés disso, devemos localizar o motivo e corrigir o que for necessário antes de dar prosseguindo aos testes de fluxo.

Portanto, agora é a hora de verificar com atenção a existência de ruídos nas caixas acústicas, e agir se necessário.

Há alguns atalhos que facilitam o trabalho de localização do motivo de eventuais ruídos.

Lembremos que com os atenuadores dos amplificadores em posição de máxima atenuação, quaisquer sinais injetados nas entradas desses aparelhos serão totalmente atenuados. Mas ainda assim, todas as circuitações dos amplificadores estarão com seus ganhos disponíveis

para amplificação.

Logo, interferências provocadas nos cabos que interligam os amplificadores às caixas acústicas poderão ser encaminhadas para os amplificadores pela “porta dos fundos”. E uma vez no interior dos aparelhos, podem facilmente atingir as entradas, sendo então amplificadas.

Para verificar se o caso é esse mesmo, com o amplificador suspeito desligado, desligue a carga real e em seu lugar ligue uma carga de teste com cabos tão curtos quanto possível.

De preferência a carga de teste será um sistema de falantes semelhante ao substituído. Ligue o amplificador. Se não houver mais ruído, provavelmente teremos identificado a causa. Mas se ele continuar, a causa investigada não é o problema.

Então, outra possibilidade é dos ruídos estarem ocorrendo por contaminação do RSPZ do amplificador. Para verificar isso, desligue novamente o amplificador com o problema, e a seguir desconecte temporariamente seu aterramento. Se o ruído ainda persistir, desligue o amplificador e seus conectores de entrada. Nessa ordem.

Sem carga real, sem aterramento e sem conectores de entrada, mas ainda com a carga de teste, o amplificador estará funcionando de modo absolutamente independente. Ligue-o. E agora, se ainda houver ruído, as alternativas são de que a causa seja “sujeira” trazida pela rede de energia CA, ou do próprio amplificador estar com defeito. A estas alturas, o primeiro motivo possível já deveria ter sido testado e detectado, se fosse o caso.

De qualquer modo, o meio mais rápido para sabermos qual é nossa causa é substituir o amplificador sob suspeita por qualquer outro do sistema, cuja carga real não tenha apresentado ruídos. Se o ruído não se manifestar, o melhor é levar o amplificador suspeito para a bancada, ou simplesmente substituí-lo. E com a persistência do ruído, podemos concluir que a causa é mesmo a energia CA. A prova dos nove pode ser feita se energizarmos o amplificador sob suspeita com uma extensão provisória obtida de um ponto de energia diferente daquele utilizado até então, e que já tenha sido testado.

Resolvidos esses eventuais problemas de ruído, passamos para o fluxo de sinais.

11.8.3 O Fluxo de Sinais Com o sistema energizado e isento de ruídos espúrios, escolha qualquer canal de entrada da console da frente da casa, e alimente sua entrada com um oscilador de áudio ajustado para a frequência de 1.000 Hz. Ative o PFL do canal e passe a monitorá-lo com um fone de ouvido.

Ajuste aos poucos o nível de saída do oscilador e o controle de entrada do canal, inclusive pads de houver, e se necessário, monitorando o sinal pelo led de sobrecarga, e também, com o fone de ouvido. Cujo nível, que é independente, pode ser ajustado para uma audição bem baixa.

Quando tiver obtido os níveis julgados satisfatórios, enderece o canal utilizado para os masters L e R. A seguir aumente vagarosamente o fader de canal com cuidado para não sobrecarregar os circuitos.

Portanto, continue monitorando com o fone de ouvido e com o led de sobrecarga do canal.

Tendo ajustado também o nível de saída do canal, aumente agora os master faders L e R, monitorando as saídas da console pelos medidores VI. Por enquanto, não permita que os sinais ultrapassem as marcas - 15,0 VU.

Repita essa mesma operação para todos os canais. E a seguir, retome o processo inteiro, utilizando agora as entradas de microfone de cada um dos canais de entrada.

Para os testes com as entradas de microfone, ou se usa mesmo um microfone, sequencialmente ligado a cada uma das entradas, ou se usa um oscilador de baixa impedância. O inconveniente com o uso dos microfones é que temos que ficar falando por muito tempo. Já com os osciladores, o sinal por eles gerado será o próprio tom de teste.

Se um oscilador de baixa impedância não estiver disponível, mas o sistema utilizar direct box, essas podem ser usadas entre a saída de quaisquer osciladores e as entradas de microfone dos canais.

Tendo realizado essa bateria de testes você já saberá que os sinais aplicados em quaisquer das entradas de canal da console estarão chegando nos masters L e R.

Use a mesma técnica de teste para verificar o fluxo dos sinais dos canais para todas as mandadas existentes, para os subgrupos, e destes para os masters. Verifique também as saídas de todas as mandadas e subgrupos. E de todos os inserts, saídas diretas, retornos e assim por diante.

Agora vamos trabalhar com os processadores de sinal a cujas entradas estão ligadas as saídas master L e R da console.

No caso do diagrama de blocos da figura 6.52, os noise gates. Durante a neutralização, o limiar deve ter sido ajustado para que os gates permaneçam dando passagem incondicional para os sinais.

Como podemos ter certeza de que todos os sinais terão passagem, não se preocupe agora com os demais ajustes do processador.

Sabendo que alguns processadores possuem controles de níveis mais completos do que outros, neste momento você deverá ajustar as posições dos controles dos níveis de entrada dos processadores, e quando houver, dos controles dos níveis de saída.

Idealmente as atenuações serão feitas para que os ganhos sejam unitários. Isto é, os níveis dos sinais de saída deverão ser aproximadamente iguais aos níveis dos sinais de entrada.

Escolha o processador alimentado pelo master L da console.

Há duas maneiras de sabermos se os sinais de entrada estão chegando à saída do processador.

A primeira, muito mais fácil, é utilizada quando o processador dispõe de recursos de monitoração capazes de informar que há sinal em curso pelo processador. Alguns processadores informam até o progresso dos sinais ao longo da circuitação do aparelho. Portanto, basta fazer com que o sinal do oscilador de áudio esteja presente na saída da console e na entrada do processador escolhido.

A segunda maneira exige a desconexão dos conectores ligados nos terminais de saída do processador, ou ainda melhor, dos conectores ligados nas entradas do aparelho subsequente. A seguir, fazemos o sinal do oscilador presente na saída da console chegar à entrada do processador, e medindo o nível do sinal em sua saída com um simples milivoltímetro de áudio.

Essas mesmas técnicas são seguidas para todos os demais processadores, até chegarmos às entradas dos amplificadores.

Execute uma sequência completa da cadeia de áudio, desde uma das saídas da console até o final. E repita para cada caminho diferente da cadeia, até ter completado todo o sistema.

Sabendo que temos sinal em todas as entradas dos amplificadores, devemos testar cada conjunto amplificador-caixas acústicas. Obtenha o sinal na entrada de um amplificador escolhido para começar, e vá movendo seu atenuador vagarosamente no sentido horário.

Mas apenas o suficiente para ter certeza de que o sinal de teste estará sendo reproduzido pelos falantes.

No caso de sistemas multivias, use um gerador de ruído rosa ao invés do oscilador de áudio, e ajuste as frequências de transição dos crossovers para as figuras reais de projeto, como documentadas.

Do contrário, para que escutássemos os sinais de testes em todos os falantes teríamos que variar a frequência do oscilador várias vezes.

Tendo testado todos os conjuntos amplificador-caixas acústicas, inclusive de retorno de palco, teremos completado os testes de fluxo de sinais pelo sistema.

O objetivo destes testes é nos dar a certeza de que todos os caminhos dos sinais estão desobstruídos. Durante os testes de fluxo eventualmente poderemos encontrar obstruções. Ou seja, o sinal não chega ao ponto em que deveria.

Na maioria das vezes, elas estarão relacionadas com os seguintes problemas: • conectores de cabos inseridos nos locais errados, ou não inseridos • deficiências de contato elétrico entre os conectores dos cabos e os dos aparelhos • soldagens irregulares nos terminais dos conectores

11.8.4 Testes de Oscilações e de Ruídos Espúrios

Uma vez efetuados todos os testes de fluxo, devemos prosseguir, agora com os testes de distorções e de oscilações.

Trabalhe da entrada dos amplificadores para o início do sistema, passando por todos os aparelhos.

Idealmente, o conjunto de interligações de um sistema não deve introduzir quaisquer tipos de ruídos, aí incluídos rames, assobios e oscilações espúrias.

Oscilações de altas frequências nem sempre produzem componentes no espectro de áudio. Portanto, o resultado final dessas oscilações nem sempre são audíveis.

Mas seus efeitos sobre os sistemas podem variar desde moderados sobreaquecimentos dos estágios de saída dos amplificadores, até danos devastadores provocados em cascata em vários aparelhos do sistema.

A forma mais objetiva de verificar a estabilidade do sistema é usando um osciloscópio.

Pequenos erros de aterramento podem provocar os inconvenientes citados. Outras vezes, eles ocorrem até mesmo com aterramentos corretos.

Isto é aplicável inclusive aos equipamentos montados e testados com sucesso na sede da empresa instaladora.

De fato, em bancada ou em laboratório, as condições de campo não podem ser integralmente simuladas. Numa comparação entre as duas situações os comprimentos de cabos são diferentes, as cargas utilizadas em pré-testes não são as reais, nem são as mesmas as fontes capazes de produzir ruídos.

Algumas formas de distorção se manifestam como uma alteração na forma de onda sinusoidal observada no osciloscópio.

Oscilações de baixas frequências se manifestam como ondas sinusoidais de frequências mais elevadas que caminham sobrepostas à onda sinusoidal de baixa frequência, esta correspondente ao sinal de teste.

Oscilações de altas frequências são mais típicas, e geralmente caracterizam-se por formas de onda mais ou menos indefinidas, dependendo da severidade das oscilações.

Quando verificando a saída de crossovers com osciloscópio, certifique-se de que a frequência de teste é compatível com a resposta de frequência do particular segmento escolhido.

Maiores detalhes sobre o combate a esses ruídos são discutidos no capítulo 8.

11.8.5 Testes de Polaridade Se já estamos usando um osciloscópio em outros testes, podemos tirar vantagem disso para efetuar também os testes de polaridade.

Durante esses testes, começando com a console de mixagem da frente da casa, e progredindo para os amplificadores, devemos testar cada um dos aparelhos.

Para tanto, alimentamos cada aparelho com um sinal de teste proveniente do oscilador de

áudio. A forma de onda é a sinusoidal.

Um osciloscópio de dois canais é utilizado para monitorar as formas de onda na entrada e na saída de cada aparelho.

Olhe na tela do osciloscópio.

Para cada aparelho testado poderá haver uma pequena diferença de amplitude entre as formas de ondas correspondentes à entrada e à saída do aparelho.

Ignore isso, que apenas significa que há ganho elétrico. Mas as duas formas deverão estar com a mesma polaridade.

Se encontrarmos condição fora de fase da saída para a entrada, há alguma inversão que deve ser corrigida.

Esses testes de polaridade são de fácil execução com quaisquer aparelhos, exceto para os delayers.

De fato, nestes, haverá sempre diferenças de fase proporcionais ao tempo de atraso. Para verificar a polaridade de delayers proceda inserindo, apenas temporariamente, uma rede formada por um diodo e um resistor entre a saída do oscilador e a entrada do delayer.

A rede deverá ser montada de modo a permitir somente a passagem das porções positivas do sinal. Agora, observando os dois canais do osciloscópio, um monitorando a entrada do delayer, e outro a saída, a polaridade do aparelho será óbvia.

Para sistemas de pequeno porte é sempre relativamente fácil testar as polaridades. Entretanto, quando há uma grande quantidade de microfones ligados no sistema, é sempre recomendável utilizar procedimentos capazes de acelerar os testes, e que ainda sejam capazes de assegurar resultados confiáveis.

Os instrumentos que possibilitam a execução dos testes de polaridade de forma muito rápida, e com grande precisão, para sistemas de quaisquer portes, são os muito conhecidos e muito requisitados testadores de fase, ou testadores de polaridade, como são conhecidos.

O princípio de funcionamento desses instrumentos é extraordinariamente simples. Eles geram e introduzem um particular sinal de teste na entrada do sistema, e comparam esse sinal com a resposta dada pelos alto-falantes.

Sem dúvida, essa é a maneira mais fácil de testar a polaridade de qualquer sistema de áudio. Em minhas andanças por aí observei que os testes de polaridade não são feitos com tais instrumentos porque muitos profissionais não os possuem, ou não sabem como construí-los.

O que acho um verdadeiro pecado.

Pois bem, a figura 11.2 mostra a versão muito simplificada do diagrama de blocos de um testador de polaridades, que pode ser utilizado em quaisquer sistemas. E através desse diagrama podemos entender bem como trabalha o instrumento.

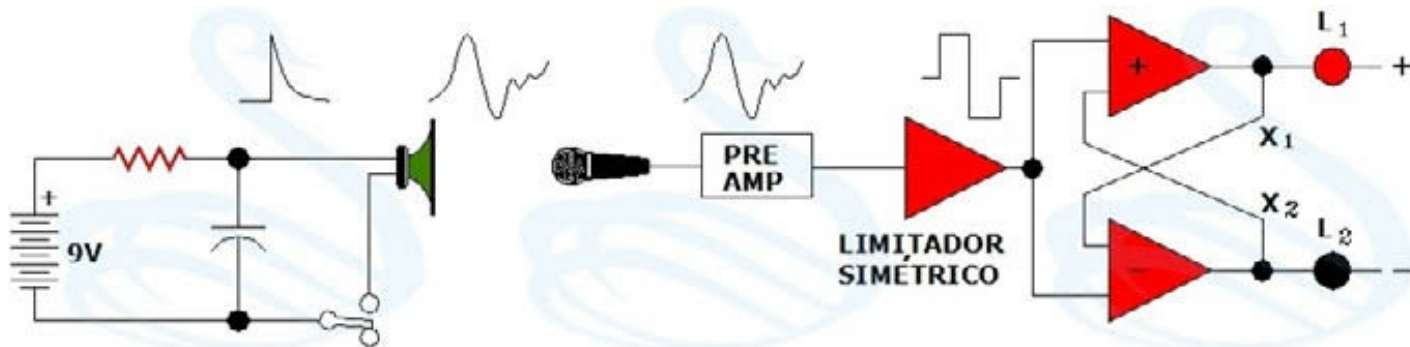


figura 11.2 diagrama de blocos de um testador de fases acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O testador é formado por duas partes. O gerador de pulsos e o indicador de polaridade.

O gerador de pulsos é essencialmente simples. O pulso é gerado pela descarga de um capacitor sobre um pequeno falante, que faz parte integrante do gerador.

A forma de onda aproximada é o que mostra a figura. Nota-se que a polaridade do pulso gerado é sempre definida. Quando o pulso do gerador é reproduzido pelo falante, há produção de onda sonora de pressão positiva.

O indicador de polaridade possui um microfone de teste, seguido de seu pré-amplificador.

Os sinais pré-amplificados são entregues a um limitador simétrico, que por sua vez é seguido de um flip-flop, que tem funções de uma chave eletrônica.

Desse modo, os sinais positivos farão acender o led L1, porquanto sinais negativos farão acender o led L2.

Quando se quer fazer o teste do sistema de som, a idéia é testar a cadeia completa, desde os microfones até os falantes. Então, escolhe-se um do microfone, e o falante escolhido para o teste. Gera-se o pulso de teste para o microfone, enquanto o microfone de teste do indicador de polaridade lê a resposta dada pelo falante do sistema.

Se o sistema estiver com todas as fases corretas, a parte superior (+) do flip-flop responderá ao sinal positivo, acendendo o led L1. Ao mesmo tempo, a parte inferior do flip-flop será bloqueada pelo circuito X1. E a parte inferior do flip-flop não poderá responder a sinais negativos.

Após um tempo pré-determinado, esta situação quase estável retorna a seu estado original. Quando o sistema está com fase invertida, ocorre o processo inverso, com a parte inferior do flip-flop atuando antes. Acendendo o led L2 e bloqueando a parte superior do flip-flop. E assim é possível testar todos os caminhos da cadeia de áudio do sistema.

A figura 11.3 mostra o esquemático detalhado do testador de polaridades.

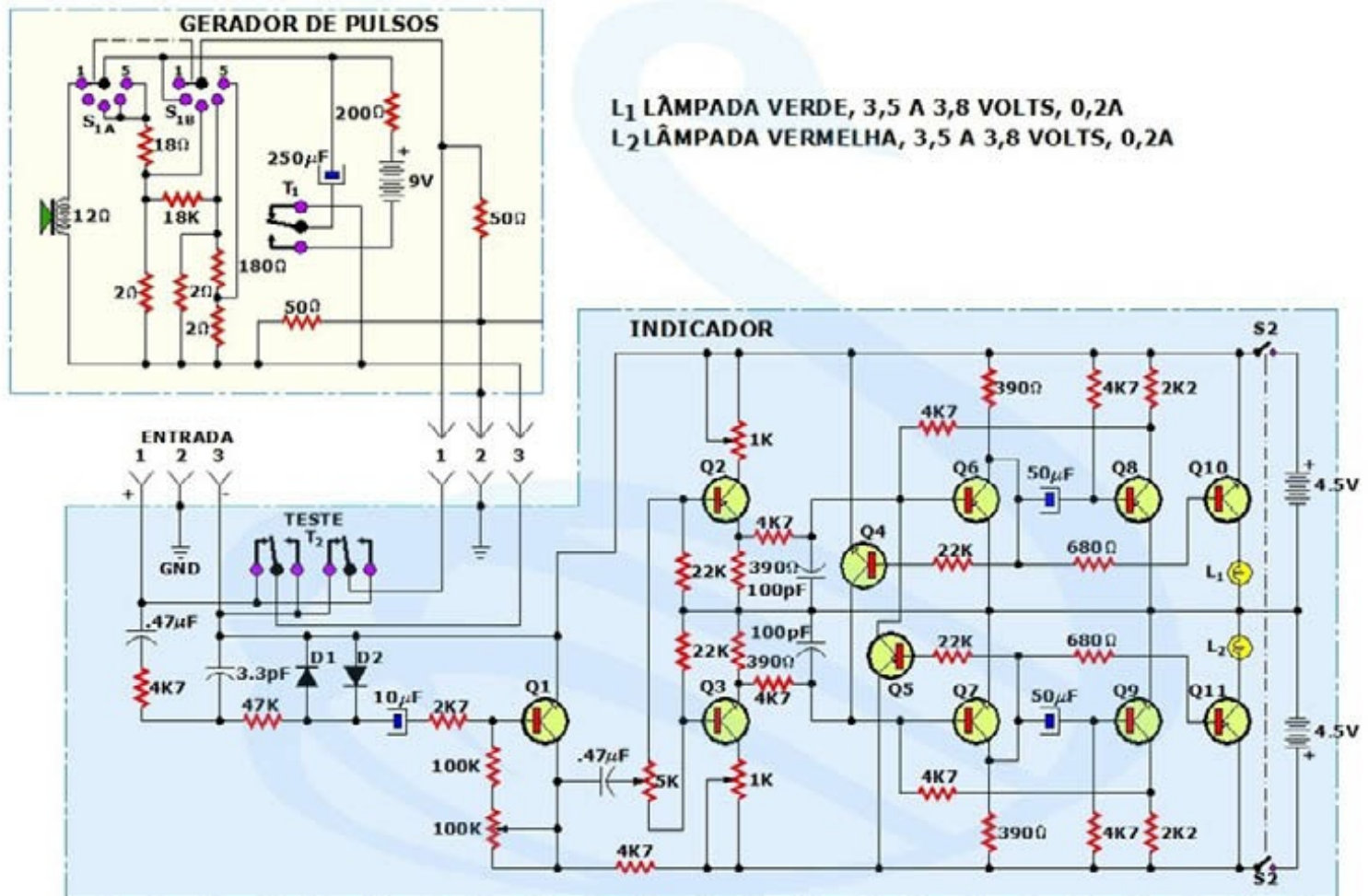


figura 11.3 esquemático detalhado do testador de fases acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 11.9
LEVANTAMENTO DE PARÂMETROS

Para cada entrada e cada saída de cada aparelho devemos medir e registrar os parâmetros abaixo relacionados. O que se aplica a fontes de programa, mixers, processadores de sinal, amplificadores, e outros.

- Z_C (impedância de entrada) • Z_F (impedância de saída da fonte) • V_0 (voltagem de saída a circuito aberto) • V_E (voltagem nominal de entrada, usada em cada medição) Observe que para os amplificadores estaremos lendo a voltagem de saída para o nível nominal de potência de saída. Portanto, essa medição deve ser feita com os dois canais operando simultaneamente, e precisamos repeti-las para diversas frequências de teste, tipicamente 20 Hz, 200 kHz, 2 kHz e 20 kHz, além do ruído rosa.

Durante as medições de amplificadores, devemos monitorar as respectivas saídas com um osciloscópio, com o objetivo de determinar:

- voltagem de saída para o nível nominal de potência de saída, sem deformações notáveis da forma de onda. Se julgarmos que este teste pode ser potencialmente destrutivo para a carga real, podemos trabalhar com potência 10,0 dB abaixo do nível nominal de saída, ou menos
- se a voltagem de saída está isenta de oscilações e ruídos não detectados anteriormente, além de contaminações ou quaisquer outras formas de distorção não esperadas Repita esses mesmos testes para todos os amplificadores do sistema.

Todos os valores medidos devem ser anotados para uso posterior.

11.10 PRÉ-ALINHAMENTO

Este não é o momento de fazermos o alinhamento final do sistema, mas apenas um pré-alinhamento. Uma espécie de preparação para o alinhamento final.

11.10.1 Níveis

Leve em conta que os controles de nível de entrada de cada canal da console, assim como os faders de canal, são manipulados todas as vezes que o sistema é utilizado.

Os níveis de saída da maioria das consoles está sempre ao redor de + 24,0 dBv. Ou o correspondente a pouco mais que 12,0 volts. Entretanto, esses são os níveis máximos de saída, a partir dos quais as deformações por clipamento já podem ser muito severas.

Trataremos desse aspecto com detalhes no capítulo 12. Por enquanto, vamos admitir que para nossos propósitos, nos limitaremos a mover os masters faders de modo que os ponteiros dos medidores VI de saída não ultrapassem a marca 0 VU.

E é exatamente neste momento que as encencas podem estar começando.

Se todos os aparelhos que integram o sistema são efetivamente profissionais, com níveis de entrada e de saída que podem chegar ou ultrapassar aos, digamos, + 21,0 dBu, tudo bem. Do início ao fim.

Nesse caso, ajuste os controles de níveis de entrada e de saída de todos os processadores de sinal para ganhos unitários.

Mas se todos os aparelhos não forem assim, e tivermos aparelhos domésticos ou semi-domésticos, ou se preferirem, semi-profissionais, com níveis de entrada e/ou de saída da ordem de - 10,0 dBu, então teremos as encencas. As saídas para elas são discutidas no capítulo 8.

É obvio que quando saímos de um aparelho de alto nível para entrar em outro, de baixo nível, não podemos simplesmente reduzir o nível de saída do primeiro.

Ou estaremos nos propondo a trabalhar com baixa relação sinal/ruído.

A alternativa seria introduzir um atenuador entre ambos. E mais cedo ou mais tarde, teremos que nos defrontar com outro obstáculo ao longo da cadeia.

Que é sair de um aparelho de baixo nível para entrar em outro, de alto nível.

Se o aparelho que vai receber os sinais de baixo nível tem ganho suficiente para trabalhar com ele, o único problema que resta é a ligação não balanceada.

Quando o ganho do aparelho é insuficiente, podemos empregar um pré-amplificador de linha entre a saída do aparelho com baixo nível de saída e o seguinte, de modo a reconstituir o nível do sinal, como desejado. A linha será ou não balanceada dependendo do pré-amplificador.

Mas a solução ideal é a utilização de uma interface profissional, como discutido no

capítulo 4.

Sem solução adequada chegaremos ao amplificador com baixos níveis de sinal.

De qualquer maneira, chegamos aos amplificadores, que estão com seus atenuadores totalmente em posição totalmente anti-horária.

Neste ponto, já podemos ligar a saída de um gerador de ruído rosa numa das entradas da console. Com um medidor de nível de pressão sonora, e de preferência também com um analisador de espectro em tempo real, monitoramos a área de cobertura das caixas acústicas, nas posições dos ouvidos das pessoas. E então vamos movendo os atenuadores dos amplificadores horariamente até obtermos o nível médio de programa especificado em projeto.

A melhor maneira de fazermos isso é individualmente, por amplificador.

Como é de se esperar que com todos os amplificadores funcionando simultaneamente tenhamos níveis de pressão sonora maiores do que as marcas individuais de cada um, nos ajustes individuais podemos trabalhar para obter níveis ligeiramente inferiores aos previstos. Esse processo é um pouco lento, mas os resultados certamente serão obtidos.

E a monitoração com o analisador de espectro em tempo real já nos dará uma primeira medida de como teremos que lidar com a equalização.

Tudo o que vimos até aqui sobre os níveis aplica-se apenas aos sistemas de uma só via. No caso dos sistemas multivias teremos um pouco a mais de trabalho.

Até as entradas dos crossovers nada muda. Mas só até aí.

Vejamos isso com um pouco de carinho, pois há muitos enganos práticos exatamente nesse ponto.

Muitos técnicos e engenheiros de som imaginam que, pelo fato da maioria dos crossovers possuir controles de nível de sinais de saída para cada uma de suas vias, esses mesmos controles se prestam apenas para a obtenção do balanço final do nível de pressão sonora final do sistema.

Por exemplo, se o crossover é de três vias, e o nível de pressão sonora das médias frequências está baixo (ou alto), basta aumentar (ou reduzir) o controle do nível de saída da via das médias frequências do crossover. O que não pode não ser correto.

O correto é trabalhar com os mais elevados níveis de saída de cada via, independentemente de obtenção ou não de balanço final. E então, trabalhar para obter o balanço nos atenuadores dos respectivos amplificadores.

11.10.2 Equalização

A equalização do sistema será discutida no capítulo 12. A sequência a seguir é apenas uma pré-equalização, ainda grosseira, mas que já trará os primeiros resultados.

Alimente qualquer canal de entrada da console da frente da casa do sistema com os sinais

de um gerador de ruído rosa.

Monitore o resultado acústico na área de cobertura das caixas acústicas com um analisador de espectro em tempo real. O microfone calibrado do instrumento deverá estar em qualquer local na área da platéia.

O ideal é que o displêi do analisador fique bem próximo do equalizador, de sorte que seja possível alterar os controles deste enquanto se olha para aquele.

O objetivo agora é obter a forma de onda mais plana possível, como observada no displêi do analisador. Procure chegar a esse resultado sem reforçar qualquer banda no equalizador, e também, não atenuando qualquer delas mais do que 3,0 dB.

Mude várias vezes a posição do microfone calibrado, procurando localizá-lo a cada vez em pontos considerados representativos de uma área maior.

Para cada uma dessas posições, retoque a equalização, de modo que a curva final resultante seja a média dos vários pontos considerados. Quanto mais pontos forem utilizados, melhor. Mas como esta é apenas uma pré-equalização, não é necessário usar mais do que um ponto para cada 100 m².

11.11 TESTES FUNCIONAIS

Use todas as fontes de programa, chegando a testar cada uma delas.

Verifique se a reprodução de todas é normal, ou corrija as anomalias.

A seguir, monte um grupo de microfones em palco, procure simular sua utilização real, e teste a reprodução.

Se houver microfonia, reduza a quantidade de microfones. Mas teste todas as entradas de microfone na console. Lembre-se que agora você também estará testando as linhas de microfones.

Se for o caso, teste agora todas direct box.

Se o sistema é provido de recursos de gravação, faça gravações a partir de todas as fontes de programa, e também, dos microfones.

Saídas para áudio para rádio e TV, usualmente balanceadas, de 600 ohms, 0 dBm, também deverão ser testadas.

Teste também cada uma das saídas da console de mixagem para retorno de palco, simulando condições reais de uso.

Inclusive com os correspondentes processadores de sinal.

11.12 MEDIÇÕES ACÚSTICAS

São três as medições acústicas a fazer: 11.12.1 Nível de Ruído Ambiente (NRA) Meça o NRA do local com um analisador de espectro, tomando o cuidado de deixar o sistema desligado durante essas medições. Registre o resultado numa folha padrão NC (Noise Criteria), como a da figura 3.19. O objetivo é verificar se o ruído ambiental real é consistente com a figura prevista ou medida anteriormente.

11.12.2 Tempo de Reverberação (RT_{60}) O tempo de reverberação deve ser medido com um medidor de RT_{60} . Ou com qualquer instrumento capaz de medi-lo.

O sinal para a medição pode ser o ruído rosa filtrado para conter apenas uma oitava, centrada em 2 kHz.

Alguns medidores permitem que a medição seja feita para oitavas centradas em 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 e 8.000 Hz.

Em quaisquer dos casos, registre as leituras e compare-as com as previstas ou calculadas.

O tempo de reverberação também pode ser medido com um analisador TEF e inúmeros programas utilizados em microcomputadores PC e Mac.

Neste caso, não teremos apenas as informações de RT_{60} , mas também, a forma de queda, que por sinal é uma informação bastante reveladora.

11.12.3 Reflexões Este teste só pode ser feito com instrumentos específicos, como um analisador TEF, ou os programas antes referidos.

O procedimento é executado para que se meça o tempo de retorno das reflexões em áreas mais críticas, como no palco, onde ficam os microfones.

Eventuais problemas detectados poderão ser resolvidos com ajustes angulares dos alto-falantes.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 12 **alinhamento de sistemas**



12. ALINHAMENTO DE SISTEMAS

12.1 INTRODUÇÃO

12.2 ALINHAMENTO ELÉTRICO

12.2.1 Polaridades

12.2.2 Estrutura de Ganho Global 12.2.2.1 A Importância da Correta Estrutura de Ganho Global 12.2.2.2 Abaixo os Ruídos, Acima o Clipamento 12.2.2.3 Medidores VU e Suas Mensagens Cifradas (Por Vezes Complicadas) 12.2.2.4 Ganhos e Atenuações 12.2.3 Ajustando a Estrutura de Ganho do Sistema 12.2.3.1 O Modo Errado 12.2.3.2 O Modo Certo 12.2.3.3 O Modo Errado x O Modo Certo - Uma Comparação 12.2.3.4 O Modo Certo na Prática, ou o Primeiro Sound Check 12.2.4 Equalização

12.2.4.1 Equalização Sistema de Som-Ambiente ou Equalização da Casa 12.2.4.2

Formatação da Resposta Acústica 12.2.4.3 Equalização de Programa 12.2.4.4

Dificuldades a Superar 12.2.4.5 Técnicas de equalização 12.2.4.6 Dicas

12.2.4.7 Equalização Paramétrica 12.2.4.8 Equalização Paragráfica 12.2.4.9

Formatação da Resposta de Acústica 12.2.5 Ajustes de Processadores 12.2.5.1

Compressores 12.2.5.2 Limitadores 12.2.5.3 Expansores 12.2.5.4 Noise Gates

12.2.5.5 Delayers

12.2.5.6 Mixers Automáticos 12.3 ALINHAMENTO MECÂNICO

12.3.1 Alinhamento Direcional dos Falantes 12.3.2 Alinhamento de Sinais nos Falantes

12.4 CEPSTRUM

12.5 ALINHAMENTO E SOFTWARE

12.4.1 O Analisador TEF

12.4.2 O Smaart da SIA 12.4.2.1 O Módulo de Tempo Real 12.4.2.2 O Módulo

Analysis 12.4.3 O Loud Audiosuite da Liberty Instruments 12.4.3.1 O Instrumento MLS/FFT

12.4.3.2 O Instrumento Sine Analyzer 12.4.3.3 O Instrumento Scope 12.4.3.4 O

Instrumento Spectrum Analyzer 12.4.3.5 O Instrumento Distortion Analyzer 12.4.3.6

Outros Recursos 12.4.4 O Praxis da Liberty Instruments 12.4.4.1 Resposta de

Frequência Complexa de Sistemas Eletrônicos e Acústicos 12.4.4.2 Medições de

Impedâncias Complexas 12.4.4.3 Extração de Parâmetros Thiele-Small de Alto-

falantes 12.4.4.4 Medições de Resposta de Frequência Quasi-anecóicas de Alto-

falantes 12.4.4.5 Geração de Resposta de Impulso de Sistemas Eletrônicos e Acústicos 12.4.4.6 Medições das Características Acústicas as Salas 12.4.4.7 Medições Espectrais com RTA 12.4.4.8 Medições de Contaminação Espectral 12.4.4.9 Geração Multitonal 12.4.4.10 Medições de Distorções Harmônicas 12.4.4.11 Medições de Distorção por Intermodulação 12.4.4.12 Medições de “Bursts” Formatados 12.4.4.13 Avaliações de Hardware de Som 12.4.4.14 Investigações de Formas de Onda no Domínio do Tempo 12.4.4.15 Análise de Vibrações 12.4.4.16 Controle de Qualidade e Testes de Alto-falantes, Transdutores e Dispositivos Eletrônicos 12.4.4.17 Auxílio a Projetos e Otimização de Crossovers Eletrônicos 12.4.4.18 Geração de Plots de “Cumulative Spectral Display” (waterfall) 12.4.4.19 Compilação, Formatação e Displêi de Dados de Padrões Polares 12.4.4.20 Avaliação de Dados Para Efeito de Decisão Passa-Não Passa 12.4.4.21 Alinhamento de Sistemas de Mascaramento Acústico 12.4.4.22 Monitoração de Níveis e Medições de Resposta de Frequência de Programas ao Vivo 12.4.4.23 Medições de Características Acústicas Especiais em Salas, Como o STI (Speech Transmission Index) 12.4.4.24 Auxílio À Equalizações 12.4.5 O SIM III da Meyer Sound 12.4.6 O MAPP da Meyer Sound 12.4.7 Ferramentas Não Software 12.4.7.1 Medidores Integrais de Ângulos 12.4.7.2 Nível a Laser Ângulos 12.4.7.3 Nível Eletrônico Magnético com Localizador de Ponto 12.4.7.4 Clinômetro 12.4.7.5 Range Finder 12.4.7.6 Range Finder 12. ALINHAMENTO DE SISTEMAS

12.1 INTRODUÇÃO

Um sistema de som instalado mas ainda não alinhado é como um diamante bruto.

Assim como para ficar bonito e se tornar apreciado o diamante precisa passar por um polimento, o sistema de som precisa do alinhamento para se tornar operacional.

A excelência e os atributos qualitativos do polimento determinam se o diamante será ou não um brilhante desejado e valorizado. Do mesmo modo, o alinhamento de um sistema de som também determina suas marcas de desempenho.

Em minha opinião, esta é etapa mais nobre de toda a instalação.

O alinhamento em si pode ser visto como um conjunto de tarefas inter-relacionadas. Cada uma delas é de importância vital para o sucesso da empreitada. Se falharmos em apenas uma das tarefas, todo o alinhamento estará prejudicado. E com ele, o desempenho do sistema.

E assim não teremos conseguido atingir o objetivo de otimizar seu desempenho. De modo que ele possa ser operado no limite de seu potencial de qualidade. Ou tão próximo dele quanto possível.

Vemos então que o melhor resultado sônico que é possível obter, e a máxima segurança operacional do sistema, dependem diretamente de um alinhamento bem feito.

Um sistema profissional de sonorização mal alinhado é como um motor de automóvel desregulado. Tanto um quanto outro estão longe de apresentar seu melhor rendimento. E quando funcionam, geralmente o fazem de modo irregular.

Alinhar bem um sistema de áudio exige um mínimo de prática. E há instrumentos que podem facilitar consideravelmente a realização das tarefas. Possibilitando ainda muita economia de tempo. E mais importante, permitindo que o trabalho seja feito com precisão.

Mas o segredo aqui é só utilizar instrumentos de qualidade.

Dada a importância do alinhamento, o profissional responsável por ele deve dispor do tempo que for preciso para fazer o trabalho.

Só se pode dar início ao alinhamento quando todos os testes de instalação já tiverem sido realizados, e eventuais problemas corrigidos.

Especialmente o que se refere ao controle de interferências eletromagnéticas (IEM).

O alinhamento em si divide-se em alinhamento elétrico e alinhamento mecânico. A grande maioria dos profissionais experientes prefere começar pelo alinhamento mecânico e prosseguir com o elétrico.

12.2 ALINHAMENTO ELÉTRICO

12.2.1 Polaridades No capítulo anterior vimos que no sexto passo dos testes de sistema há uma etapa na qual o sistema é testado quanto a suas polaridades. O objetivo dessa etapa é assegurar que as fases elétricas estejam corretas ao longo de toda a cadeia de áudio.

É absolutamente imperativo que o sistema a ser alinhado tenha suas fases elétricas corretas.

Portanto, se você não tiver certeza absoluta disso, é preciso refazer os testes correspondentes, e corrigir o que for necessário.

12.2.2 Estrutura de Ganho Global **12.2.2.1 A Importância da Correta Estrutura de Ganho Global** A relação sinal/ruído final do sistema, e portanto seu desempenho sônico, vai depender muito de como é ajustada sua estrutura de ganho. O que confere a essa etapa do alinhamento um grau de importância vital.

Podemos colocar do seguinte modo.

Um sistema bem projetado, bem instalado, e bem alinhado, especialmente com sua estrutura de ganho bem definida, poderá facilmente ter um bom desempenho.

Se este mesmo sistema, nas mesmas condições anteriores, exceto por sua estrutura de

ganho, agora definida de maneira medíocre, terá desempenho global também medíocre.

Gostaria de sugerir que o exemplo dado no item 8.8.1 do capítulo 8 fosse relido. Seu entendimento será uma sólida base para a sequência desta discussão.

Se caminhararmos devagar agora poderemos entender bem cada conceito envolvido com o ajuste da estrutura de ganho.

12.2.2.2 Abaixo os Ruídos, Acima o Clipamento Calma. Não estamos fazendo a apologia ao clipamento.

Simplesmente lembrando o que vimos no item 8.2.4 do capítulo 8.

De fato, para cada aparelho de áudio há um certo nível de sinal de entrada, a partir do qual os sinais não podem mais ser tratados adequadamente. A partir desse limite eles passam a ser clipados pelo aparelho.

O resultado é a distorção. O que não podemos permitir que aconteça.

A maneira de impedir é não deixando os sinais de entrada ultrapassarem os limites dos aparelhos.

Por outro lado, qualquer aparelho eletrônico de som, aí incluídos microfones, fontes de programa, consoles de mixagem, processadores de sinal, amplificadores, e quaisquer outros, todos introduzem seu próprio nível de ruído residual.

Que por ser residual tende a se manter constante. Independentemente dos níveis de entrada ou de saída dos sinais. Desse modo, quanto mais baixo for o nível do sinal de saída, mais próximo ele estará dos níveis de ruídos residuais de saída.

E portanto, pior será a relação sinal/ruído obtida na saída do aparelho.

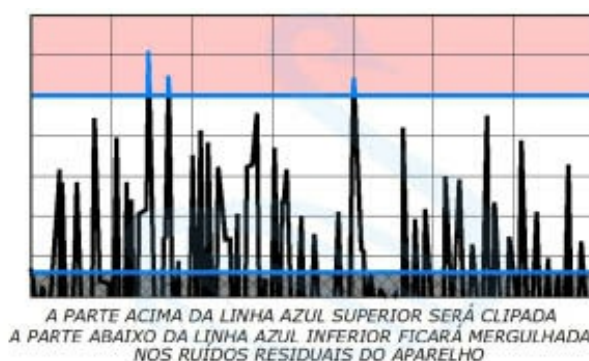


figura 12.1 limites de sinal de um aparelho hipotético. Abaixo o limite dos ruídos residuais, e acima o limite de clipamento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando a relação sinal/ruído é muito baixa, os ruídos residuais tornam-se facilmente audíveis. Este efeito pode ser constatado com alguma frequência em sistemas profissionais. Um exemplo claro pode ser verificado com a audição de fitas cassete gravadas em aparelhos de baixa qualidade.

No outro extremo, se operamos os aparelhos com sinais excessivamente elevados, os níveis de distorção por clipamento também tornam-se audíveis.

A figura 12.1 nos ajuda a ver esses dois limites. O dos ruídos residuais abaixo e do clipamento acima.

A figura nos sugere que a melhor alternativa é fugir ao máximo dos ruídos residuais, aumentando o nível dos sinais entrada. E esse máximo é determinado pelo limite de clipamento do aparelho.

Se tivermos um sinal de áudio caracterizado por nível estável e constante, como o obtido na saída de um bom oscilador de áudio, nossa tarefa de obter a maior relação sinal/ruído será bastante simples.

Basta que aumentemos o nível do sinal estável e constante até que ele fique imediatamente abaixo do limite de clipamento do aparelho.

Como nesse caso específico o nível do sinal é estável e constante, podemos ter certeza de que ele não aumenta a ponto de ultrapassar o limite de clipamento do aparelho, o que evita o clipamento e suas distorções. Por outro lado, também podemos ter certeza de que o nível do sinal não cai degradando a relação sinal/ruído.

Na vida real os sinais de áudio não assim tão domesticados. Nela, o que conta mesmo é a dinâmica dos sinais. Eu diria que essa é essência da questão. Só para nos situarmos melhor em relação a isso, vamos recapitular a figura 3.8.

Ela nos evidencia essa natureza extremamente dinâmica e volúvel dos sinais de áudio.

Ao lidar com sinais assim, o que queremos é que os picos mais elevados não ultrapassem os limites de clipamento. E ao mesmo tempo, não queremos relações sinal/ruído mais baixas do que as que podemos efetivamente obter.

Estudar os medidores VI poderá nos dar uma visão “cinemascope” dessa questão.

12.2.2.3 Medidores VI e Suas Mensagens Cifradas (Por Vezes Complicadas) Suponha que um orador esteja usando um sistema de reforço para fazer um discurso. E por qualquer razão um indivíduo resolve saber qual é o nível do sinal de áudio correspondente ao discurso na saída do equalizador.

Menos avisado, esse indivíduo saca seu voltímetro, ajusta as teclas para leitura de voltagem CA e aplica os terminais de prova do instrumento na saída do processador.

Sabe o que está lendo? Uma mera pantomima da intensidade dos sinais que ele queria saber. Até podemos dizer que, a rigor, ele não está lendo nada que possa interessar.

Os sinais de áudio não podem ser medidos como fazemos para medir voltagens CA da rede de energia, ou como fazemos com um amperímetro para medir a corrente que percorre uma lâmpada.

A dificuldade de leitura está relacionada com a natureza dinâmica dos sinais de áudio.

Quando fazemos medições de voltagens ou correntes CC, os instrumentos indicam valores que são constantes com o tempo. No caso de sinais sinusoidais CA, os instrumentos podem ser

calibrados para informar valores médios, RMS, ou mesmo picos.

Quanto mais a forma de onda se afasta da sinusoidal, maior o erro de leitura introduzido pelos instrumentos convencionais.

Além da dinâmica própria dos sinais de áudio, um outro complicador é que as amplitudes dos picos também são constantemente variáveis.

Como resultado, os valores RMS de suas formas de onda, tipicamente muito complexas, não são 0,707 vezes os valores de pico, como nas ondas sinusoidais. Ao contrário, as magnitudes RMS típicas dos sinais de áudio variam continuamente entre cerca 0,04 até aproximadamente 0,99 vezes os valores dos picos. E como ler as intensidades nesse caso? É um dilema não?

No passado, essa charada incomodou muito toda a indústria eletrônica norte-americana, que resolveu pensar numa maneira que pudesse satisfazer ao menos as necessidades mais básicas de monitoração. Tanto para sinais fluindo através de circuitos telefônicos, quanto para sinais a serem gravados, e ainda, para sinais em curso por circuitos de broadcasting.

E esse foi o problema com o qual muitos engenheiros se defrontaram ainda no início deste século.

Seu desafio era bolar um instrumento que pudesse informar em tempo real as amplitudes dos sinais de áudio.

Era preciso que se chegasse a um medidor muito diferente dos voltímetros e dos amperímetros.

Em maio de 1.939 nascia a solução.

Chamava-se medidor VI. Para Volume Indicator Meter.



figura 12.2 medidor VI convencional acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para ser considerado um medidor VI autêntico, o dispositivo original tinha que seguir um padrão. Que alguns anos mais tarde se tornou anacrônico.

Por essa razão, o Bell Telephone Laboratories, a Columbia Broadcasting System (CBS) e a National Broadcasting Company (NBC), juntaram esforços para modernizar o primeiro padrão estabelecido. E assim nasceu o atual padrão para medidores VI, que leva o título USASI C 16.5-1961, e é de 1.961.

O chamado padrão 16.5 estabelece regras gerais de escalas, de circuitação, de impedância, de características dinâmicas, de resposta versus frequências, de sensibilidade, de sobrecarga e outros.

Tudo isso para qualificar um instrumento cuja única função é nos ajudar a monitorar os sinais de áudio. Mais especificamente, nos informar suas intensidades.

O aparelhinho original tinha, e ainda tem, a cara da figura 12.2. Embora o medidor da figura seja um modelo clássico, com agulha, há muito que já há equivalentes construídos com segmentos de leds.

Como mostra a figura, os medidores VI possuem duas escalas.

Uma graduada em percentos de modulação, para uso em broadcasting, e outra graduada em Unidades de Volume, ou VU, destinada a engenheiros e técnicos de áudio.

A escala graduada em VU compreende a faixa mínima de - 20 VU a + 3 VU. A marca - 20 VU fica do lado esquerdo do displêi, e a marca + 3 VU do lado direito.

A marca 0 VU fica deslocada para a direita do centro da escala, a aproximadamente 71% de todo o arco.

Na maioria dos medidores VI, a cor das escalas entre as marcas - 20 VU e 0 VU é a preta. E de 0 VU para a direita a cor é a vermelha.

A agulha indicadora do instrumento se move em resposta aos sinais de áudio.

Quando não há sinais presentes, a agulha fica permanentemente encostada no batente esquerdo.

Ela passa a oscilar bem próxima desse batente quando os sinais são muito débeis.

A presença de sinais de maior intensidade faz a agulha excursionar para o lado direito. Tanto mais quanto mais intensos são os sinais.

A figura 12.3 mostra o circuito de um medidor VI.

O instrumento de medida com agulhas possui um galvanômetro D'Arsonval DC, que opera com um retificador de onda completa de óxido de cobre. O retificador é montado no interior do medidor. E a impedância deste conjunto é 3.900 Ω .



figura 12.3 circuito de um medidor VI convencional acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ele é precedido por um atenuador de impedância constante de 3.900 Ω , e antes de ambos há um resistor série de 3.600 Ω . De sorte que quando o medidor é colocado sobre uma linha para medi-la, a impedância padronizada como vista pela linha é 7.500 Ω .

De acordo com o padrão, a impedância da linha deve ser 600 Ω .

Esse valor de impedância foi escolhido desde o início, pois estava de acordo com os padrões das companhias telefônicas da ocasião. Já que esses possibilitavam uma relação sinal/ruído satisfatória, com grau desprezível de diafonia.

Para calibrar o instrumento, ele é ligado numa linha com impedância de $600\ \Omega$, e injeta-se um sinal sinusoidal de 1.000 Hz, com nível + 4,0 dBm. De modo que a voltagem sobre o instrumento completo é 1,228 volts. E nessas condições, a leitura é ajustada para exatos 0 VU.

Muita gente confunde essa referência, imaginando que o 0 VU corresponda a 0 dBm, o que não é correto. A razão da confusão é o resistor de $3.600\ \Omega$, que impõe uma perda por inserção de 4,0 dB.

Ou seja, se não fosse por essa perda, a leitura 0 VU corresponderia mesmo ao nível 0 dBm. A propósito, só podemos usar o rótulo dBm para sinais sinusoidais. Para os sinais de áudio o termo correto é unidades de volume, ou VU.

Para ondas sinusoidais puras, variações de 1 VU são equivalentes a mudanças de 1,0 dB na intensidade do sinal.

A calibração, como vimos, decorre da sensibilidade estabelecida no padrão do medidor VI autêntico.

Isto é, que o nível de potência do sinal que deve fazer a agulha se deslocar até o ponto 0 VU, ou o ponto de 100% de modulação, é + 4 dBm, sobre impedância de $600\ \Omega$.

Para formas de onda complexas, a leitura a cada momento depende exclusivamente da forma de onda do sinal. Mas, os valores dos sinais de áudio visualmente informados estão entre os valores médios dessas formas de onda complexas e seus valores de pico. Isso, a cada momento.

Quando usamos o termo a cada momento, já estamos nos referindo à dimensão tempo.

E nesse contexto entra a balística do instrumento. Bem, balística é o conjunto das características dinâmicas do medidor, especialmente o que se refere à velocidade com que a agulha deve responder aos sinais de áudio, e ao controle de sua inércia.

A balística dos medidores VI é projetada de tal sorte que, quando lidando com formas de ondas complexas, variando simultaneamente em frequência e intensidade, ainda tenhamos a informação de um valor representativo da intensidade do programa em curso naquele momento. Como vimos anteriormente.

Muita gente me pergunta como trabalham os medidores VI, uma vez que as formas de onda dos sinais de áudio podem ser extremamente complexas.

É simples. Sua balística faz com que eles trabalhem com uma dinâmica que se aproxima muito da de nossos ouvidos. De onde provém o termo Unidade de Volume.

Creio que você poderá interpretar mais facilmente a velocidade de resposta da agulha se virmos isso através de um exemplo prático. Se for aplicado um sinal de 1 kHz na entrada do instrumento, com intensidade para fazer a agulha se deslocar até o ponto 0 VU, ela deve atingir esse ponto em 300 milissegundos.

Com essa informação já podemos tirar algumas conclusões.

Por exemplo, como picos e transientes são fenômenos de duração bastante curta, sempre muito inferiores aos 300 milissegundos, o medidor não possui velocidade suficiente para informar se eles estão ou não presentes nos sinais. Sabemos que os picos e transientes, quando presentes, geralmente estão entre 8,0 e 14,0 dB acima da leitura corrente.

Para medidores VI calibrados, em razão da balística, os picos dos sinais serão indicados com valores tipicamente 10,0 dB abaixo de seus valores reais. Ou seja, eles não são mesmo detectados como picos pelo instrumento.

E se fossem, não teríamos tempo suficiente para reduzir ou atenuar o que quer que fosse.

Muitos medidores rotulados VI não merecem esta chancela, porque não possuem a balística padronizada. Em razão de variações substanciais de balística de um medidor para outro, mesmo profissionais experientes e familiarizados com esses medidores ocasionalmente podem se ver em dificuldades.

O padrão também estabelece várias outras coisas, entre as quais: overshoot

O overshoot da agulha não deve ser superior a 1,5%, nem inferior a 1%, quando se deslocando do ponto - 20 VU até o ponto 0 VU

1.000 Hz versus banda de frequências Em comparação com leituras feitas com sinais de 1.000 Hz, leituras de segmentos do espectro com frequências entre 35 Hz e 10 kHz, devem ser feitas com desvios inferiores a 0,2 dB. E para segmentos com frequências entre 25 Hz e 16 kHz, os desvios não devem ser superiores a 0,5 dB

sobrecarga

O medidor VI não deve apresentar quaisquer anomalias, muito menos sofrer danos, ou ainda, não ter sua calibração afetada, diante de sobrecargas provocadas por picos 10 vezes superiores à voltagem de calibração, apresentadas ao medidor por 500 milissegundos.

O mesmo deve ocorrer com sobrecargas provocadas por voltagens 5 vezes superiores a voltagem de calibração, apresentadas ao medidor por tempo indeterminado.

distorção harmônica

A distorção harmônica imposta ao circuito de $600\ \Omega$ que está sendo medido não deve ser superior a 0,3% para as piores condições de uso do instrumento, que são as correspondentes a perda nula no atenuador variável.

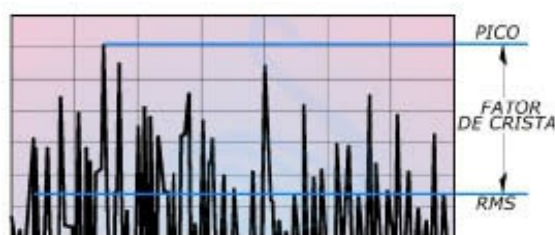


figura 12.4 fator de crista acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mas o que significa realmente a marca 0 VU? Desculpem, mas preciso insistir com esse aspecto.

Suponha que um microfone seja instalado muito próximo de um instrumento acústico de percussão, caracterizado por um ataque muito intenso e rápido.

Quando a baqueta encontra a pele do instrumento, a agulha do medidor atinge o ponto 0 VU. Agora sabemos que a agulha do medidor não nos indica o pico, mas algo um pouco acima da média. E vimos que os picos estarão usualmente entre 8,0 e 14,0 dB acima da leitura que estamos fazendo.

Essa diferença entre o que os medidores informam, e o que os picos podem atingir, chama-se fator de crista. O que é ilustrado na figura 12.4.

Isso quer dizer que podemos estar lendo 0 VU, achando que está tudo uma beleza, e picos de + 10 dB, ou mesmo + 15 dB podem estar correndo soltos, distorcendo nossos programas.

Por isso, devemos ter muita cautela com as cores das escalas dos medidores. Em princípio, a cor preta deveria informar que estamos lidando com sinais numa região sem perigo. E o vermelho informaria que estamos com nossos sinais em região pouco segura. Mas poderemos estar numa região muito mais do que só pouco segura. Pode ser realmente uma região de distorções pesadas.

Como os medidores VI só servem para nos ajudar com a monitoração, é claro que essa limitação é uma deficiência inerente deles.

Há duas formas de contornar o inconveniente.

Uma delas é utilizar instrumentos indicadores de picos. Ou PPM, para Peak Program

Meter. Estes instrumentos, que tanto podem ser de agulha, quanto de leds, trabalham com balística diferente dos medidores VI. A ideia é que a velocidade seja muito maior, para que a indicação siga tão rigorosamente quanto possível a natureza extraordinariamente rápida dos picos e transientes.

Mas se isso fosse observado ao pé da letra, a agulha ou leds excursionariam tão rapidamente que não teríamos tempo sequer para fazer a leitura.

Assim, os PPM usam um truque. De agulha ou de leds, a subida é muito rápida até os valores máximos dos picos. Uma vez atingidos esses pontos, as agulhas ou leds são assim retidos por um tempo suficiente para que possamos fazer as leituras. E depois voltam.

Alguns aparelhos possibilitam que o medidor VI seja comutado para indicar picos aos invés de Unidades de Volume. E aí o dispositivo não é mais um medidor VI, mas um medidor de picos.

A segunda forma é “envenenar” o medidor VI. Ou seja, mudar sua sensibilidade.

O que é isso? É fazer com que o 0 VU do medidor não corresponda mais à referência padrão, mas a outro nível de sinal. Superior à referência? É. Exatamente isso.

Não estou sugerindo nem propondo uma prática nova. Mas apenas informando como obter proteção contra distorções.

Aliás, o que já se faz há décadas.

Naturalmente, esses medidores “envenenados” não tem mais nada a ver com os medidores VI autênticos. Mas a prática se justifica. E seus resultados são muito úteis. Senão, vejamos.

Gravadores cassete, da variedade convencional, são tipicamente aparelhos domésticos. Com níveis de saída de aproximadamente - 10,0 dBu.

Se fossemos monitorar os níveis de saída dos gravadores K7 com medidores VI autênticos, com os pontos 0 VU correspondendo a + 4,0 dBm, as agulhas praticamente não se moveriam. Assim, as agulhas dos “medidores VI” dos cassetes defletem até o ponto 0 VU com sinais que estão em torno de - 10,0 dBu.

Pensem. Não poderia ser de outro modo.

Aparelhos de broadcasting e os sistemas telefônicos empregam medidores VI cujos pontos 0 VU correspondem a sinais de + 8 dBm.

Aparelhos balanceados de gravação, como consoles e gravadores, possuem medidores VI cujos pontos 0 VU são atingidos diante de sinais de + 4,0 dBm.

Embora essa seja a maioria dos casos, não é uma regra geral, e nem mesmo rígida.

Muitos profissionais que gravam programas musicais caracterizados por picos e transientes intensos e imprevisíveis, mas sempre presentes, preferem ajustar a sensibilidade dos medidores VI que utilizam para que os pontos 0 VU sejam atingidos com sinais de até + 8 a +

12,0 dBm.

E assim, introduzem uma proteção extra contra picos “invisíveis” de até 4 e 8 dB, respectivamente.

Muitos gravadores profissionais de fita têm seus medidores VI ajustados para que o ponto 0 VU seja correspondente ao nível de sinal de 8,0 dB abaixo do nível que produz 3% de distorção harmônica de terceira ordem, quando gravando fitas magnéticas com sinal sinusoidal de 400 Hz.

Já vimos que as saídas balanceadas da maioria das consoles de mixagens modernas são capazes de entregar níveis máximos de + 24,0 dBu, ou mais, ainda sem distorções consideráveis.

Assim sendo, se temos um nível médio de 0 VU indicado pelo medidor, e que corresponde a + 4 dBu, devemos entender que temos uma margem de trabalho de 20,0 dB. Que é a margem típica mínima de qualquer boa console. Essa margem se mantém por toda a circuitação da console, de qualquer entrada para qualquer saída.

Quanto mais elevada for a margem, menos riscos de clipamento teremos. Mas ao mesmo tempo, pior será nossa relação sinal/ruído. Inversamente, quanto menor for a margem - então, provavelmente já estaremos com a agulha trabalhando no vermelho do medidor - mais riscos de clipamento teremos. E melhor será nossa relação/ruído.

De nada adianta termos uma excelente relação/ruído com sinais distorcidos por clipamento.

Também não há sentido em termos uma margem tão elevada que nos garanta risco zero de clipamento, mas as custas de relações sinal/ruído muito baixas.

E agora, respondendo àquela pergunta sobre o que significa realmente a marca 0 VU, ela é uma referência, que deve ser conhecida, a partir da qual trabalhamos para obter a mais alta relação sinal/ruído, sem incorrer em distorções por clipamento.

Eis sua serventia.

Nos casos de gravações, ou mesmo de reforço ao vivo de instrumentos musicais, devemos estar atentos para o fato de que alguns instrumentos podem produzir picos e transientes de até 20,0 dB acima de seus níveis médios. E assim, ou mantemos essa margem ao longo de todo o encadeamento de áudio, ou devemos encontrar uma forma de reduzir a dinâmica dos sinais. Não precisamos procurar muito. Essa forma chama-se compressão.

Vamos fazer uma continha interessante?

Para obter um determinado nível de programa na plateia devemos operar nosso sistema de reforço com 1.000 watts. Se queremos mesmo manter margem de 20,0 dB, quantos watts disponíveis devemos ter?

$$20 = 10 \log \frac{X}{1.000} \therefore X = 1.000 \times 10^{\frac{20}{10}} = 100.000 \text{ watts}$$

Se você acha que dinheiro é capim invista nos 100.000 watts. Se não, use um compressor, e reduza a margem. Por exemplo, para 10,0 dB, e invista só em 10.000 watts.

Aproveite para se exercitar. Quantos watts seriam mesmo necessários para que a margem fosse 15,0 dB? E para que a margem fosse 12,0 dB? E para que a margem fosse 18,0 dB?

Se você fez essas contas, já apurou um bocado sua sensibilidade para ver a relação entre investimento em watts e margem operacional.

E já que estamos falando nisso, quero aproveitar para registrar os resultados de uma pesquisa bastante séria feita há alguns anos sobre esta mesma margem.

Uma conhecida revista norte americana de áudio convocou um painel de indivíduos, todos audiófilos renomados. Com ouvidos realmente muito educados.

O teste consistiu na reprodução de programas musicais variados, com preferência para os de alta dinâmica, com margens que variavam de 6,0 a 20,0 dB, em incrementos de 1,0 dB de uma para outra reprodução.

Enquanto os componentes do painel ouviam as reproduções, suas impressões subjetivas eram cuidadosamente anotadas, para posterior compilação pela equipe técnica que conduziu o evento.

Reproduções feitas com margem de 6,0 dB foram julgadas como detentoras de pouca dinâmica. Essa opinião perdia densidade à medida em que a margem era aumentada.

O ponto de inflexão ocorreu com reproduções feitas com margem de 10,0 dB. Quando a maioria julgou que a fidelidade da reprodução já era muito boa.

Poucos disseram ter ouvido melhora com margens variando entre 10,0 e 15,0 dB. Finalmente, um ou outro indivíduo mencionou ter sentido melhora com margens entre 15,0 e 20,0 dB.

Francamente, espero que isso possa lhes dar um referencial concreto de onde investir, e principalmente, em onde não investir.

Voltando aos medidores VI, vimos o quanto é importante a referência de nossos pontos 0 VU.

Devemos ter essa informação para saber com que margem estamos trabalhando. Do mesmo modo, também devemos conhecer a dinâmica do programa que estamos monitorando.

Digamos que para um determinado caso tenhamos concluído que o nível ideal para nossos sinais é quando a agulha indica a marca 0 VU. E que nossa conclusão está baseada no fato de podermos obter a mais elevada relação sinal/ruído, com o mínimo de riscos de distorções.

Nessas condições, quando a agulha começar a se mover entre o ponto 0 VU e o batente

limitador direito, ou seja, na parte da escala com a cor vermelha, o engenheiro ou técnico terá que ligar suas antenas e redobrar a atenção sobre o trabalho em curso.

Passeios sorrateiros, eventuais e rápidos da agulha até a marca + 1 VU não devem provocar desmaios.

É coisa normal. Quando a agulha passar a visitar a casa + 2 VU com muita frequência, não precisamos entrar em pânico. Mas será prudente atenuarmos um pouquinho os sinais.

E se a agulha começar a bater insistentemente no batente direito, é praticamente certo que já estejamos convivendo com distorções. Nestes casos, quando os sinais são monitorados auditivamente, geralmente podemos ouvir as distorções nítida e claramente.

Bem, caro leitor, penso que a única maneira de aprender a trabalhar com os medidores VI é experimentando. Ou seja, aplicando o processo da tentativa e erro. Isso é especialmente aplicável quando buscamos a melhor maneira de chegar ao limite operacional de cada sistema.

Ainda assim, duas recomendações são habituais quando vamos lidar com os medidores VI:

- jamais permita que seu programa tenha quaisquer traços de distorção por clipamento, que é o risco que todos corremos quando pretendemos obter as mais elevadas relações sinal/ruído
- confie no medidor VI, mas sabendo qual é sua sensibilidade, e desde que tenha se assegurado que ele está bem calibrado

Mais importante do que isso, jamais subestime a análise feita por seus próprios ouvidos. Eles são uma ferramenta infinitamente superior a qualquer medidor já construído por mão humanas ou por máquinas.

Por isso, se os medidores indicarem que não há distorção, e seus ouvidos a acusarem, não deverá haver dúvida sobre isso. É certo que as distorções estarão mesmo ocorrendo.

Confira, e depois disso, não se esqueça de recalibrar os medidores afetados.

12.2.2.4 Ganhos e Atenuações microfones

Vimos que cada microfone é caracterizado por um dado nível de potência, sempre associado a um determinado campo acústico.

Quando pensamos na estrutura de ganho total de um sistema, precisamos estabelecer quais são os níveis de potência de nossos microfones.

O que implica em saber com que campo acústico cada um deles irá se defrontar. E esta é uma das partes difíceis do alinhamento elétrico do sistema.

Os profissionais mais experientes já têm uma boa ideia de quais são os níveis médios e máximos produzidos pela maioria dos instrumentos musicais. Mas os níveis reais dependem sempre de como os músicos os tocam.

Outras vezes os microfones são usados para microfonar caixas acústicas de instrumentos elétricos e eletrônicos. Assim, o nível de pressão sonora gerado nesses transdutores dependerá

dos hábitos dos músicos que usam essas caixas acústicas, e da manutenção da distância entre ambos.

Microfones para vozes estão sujeitos a campos acústicos muito variáveis. Dependendo do artista, de sua potência vocal, do ambiente no qual ele está se apresentando, e de muitos outros fatores mais. Para efeito de nosso alinhamento agora, podemos simular situações e trabalhar com figuras próximas das reais, obtidas com essas simulações.

Não se esqueça que qualquer microfone também apresenta sua própria relação sinal/ruído. E campos acústicos muito baixos podem acarretar relações sinal/ruído correspondentemente baixas.

Quando o sinal proveniente de um microfone já é portador de baixa relação sinal/ruído, mesmo que o alinhamento elétrico venha a ser feito dentro de padrões ideais, a parte do resultado que depende desse microfone ainda será caracterizada por uma baixa relação sinal/ruído.

Diante de casos como esse, considere seriamente a possibilidade e a conveniência de substituir o microfone por outro. Na prática, esse aspecto é tão sutil que muitas vezes simplesmente passa sem ser percebido por quem quer que seja.

Afinal, quem suspeitaria de um microfone de excelente qualidade, que tenha custado centenas ou mesmo milhares de reais?

Não se deixe confundir. Microfones não são escolhidos porque estão na moda, ou porque estão mais facilmente disponíveis no mercado. Ou tampouco porque se acredita que por custarem mais devem ser melhores.

Eles devem é ser adequados para as aplicações que vão ter. E é exatamente aqui que podemos ver porque a sensibilidade é um dos fatores primordiais que determina a escolha de um microfone em particular para cada aplicação.

mixers

A figura 12.5 esquematiza de modo muito simplificado a sucessão de ganhos e atenuações de um mixer típico.

O sinal de entrada é encaminhado para um atenuador que, vimos antes, pode impor uma atenuação fixa de 20,0 ou 30,0 dB. Este é o pad que vimos no capítulo 4.

O seletor que segue o atenuador pode inserir ou retirar o atenuador da circuitação. Sua utilização é recomendável em casos de sinais de níveis muito elevados, que possam saturar a circuitação do canal, provocando o clipamento.

A seguir, há um estágio de ganho de 60,0 dB, ajustável. Esse ajuste é o gain, também discutido no capítulo 4. A seguir vem a seção de equalização. Adiante dela está o fader de canal, e a seguir um novo estágio de ganho de 10,0 dB.

Os faders de canal podem impor atenuação total em sua posição inferior (marca ∞), ou nenhuma atenuação em sua posição superior.

Há uma posição com a marca 0 (zero), que fica a cerca de 2/3 do curso de baixo para cima, onde a atenuação imposta é - 10,0 dB.

O zero significa que esta atenuação compensa o ganho de 10,0 dB do estágio de ganho subsequente. E o -10,0 dB mostra uma atenuação negativa de 10,0 dB, ou seja um ganho de 10,0 dB, que é o do estágio de ganho trabalhando sem atenuação.

Quando o canal é diretamente endereçado para subgrupo, podem haver alguns recursos de processamento e de endereçamento na circuitação do subgrupo, sempre seguidos por um outro fader e um outro estágio de ganho de 10,0 dB.

Este fader e este estágio de ganho são similares aos dos canais.

E na saída dos subgrupos para os masters há nova sequência de faders, agora os master faders, e mais um estágio de ganho. Ainda aqui, faders e estágio de ganho são semelhantes aos dos canais e dos subgrupos.

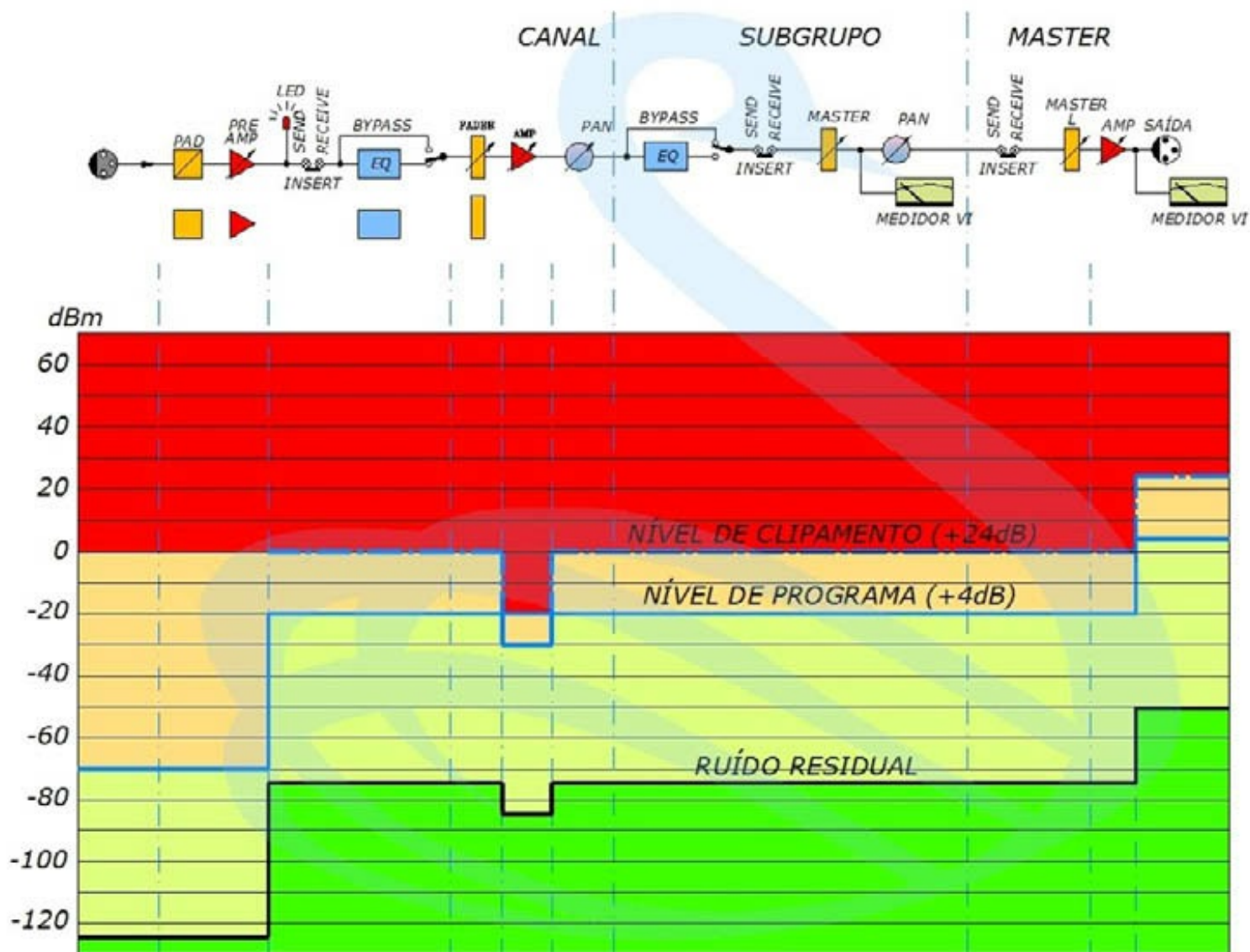


figura 12.5 ganhos e atenuações num mixer típico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essa estrutura de ganho é conhecida como sequência 70+10+10.

O ganho total resultante é 90 dB.

Mas devo prevenir que há consoles que apresentam estruturas de ganho de apenas 50+10+10 (total de 70 dB), outras com 60+10+10 (total de 80,0 dB), e assim por diante.

processadores de sinal Também já vimos que nos processadores de sinal do gênero profissional, com entradas e saídas balanceadas, os níveis máximos das entradas e saídas balanceadas são compatíveis com os das consoles. Isto é, são da ordem de + 24,0 dBu.

Se o próprio processamento não impõe ganho ou atenuação aos sinais, a operação é feita com ganho unitário. Mas alguns processadores, como os equalizadores, geralmente impõem ganho ou atenuação aos sinais.

É sempre recomendável operar qualquer processador com ganho unitário, compensando eventuais ganhos ou atenuações impostas pelo próprio processamento.

Quando esse é o caso, e o processador dispõe de controles de ganho, a primeira ideia é sempre compensar o ganho ou perda imposta pelo processador através dos controles de ganho.

Mas se isso for feito sem que pensem nas consequências, apenas girando knobs, podemos estar optando por uma alternativa muito pobre do ponto de vista de engenharia de áudio.

Vejamos um claro exemplo disso.

Seja um equalizador que, inserido na cadeia de áudio, impõe uma determinada perda. Por exemplo, de 5,0 dB.

O aparelho dispõe de controle de ganho de entrada. O que você faria?

Compensaria a perda aumentando o ganho nesse controle?

Não prossiga com a leitura agora. Tente responder por você próprio, e não ler porque se faz assim ou assado.

A ideia de aumentar o ganho de entrada para compensar a perda não é uma boa. Porque, se fizéssemos isso, estaríamos reduzindo a margem do processador, como vimos em nossa discussão sobre os medidores VI.

Essa redução de margem vem na mesma medida que os decibels que aumentamos. No caso, 5,0 dB.

Essa é uma atitude que não traz quaisquer benefícios.

Só o prejuízo de maiores riscos de distorção.

E aqui prevalece uma daquelas máximas do áudio. Nenhum sistema é melhor do que o pior elo de sua cadeia.

Ou seja, a redução da margem não fica restrita apenas ao processador, mas tem efeito sobre todo o sistema.

amplificadores

A estas alturas já estamos aptos a expressar as potências de saída dos amplificadores em dBm.

Também já podemos lidar bem com as voltagens nominais dos sinais de entrada, com as impedâncias nominais de entrada, e até calcular os ganhos dos aparelhos.

Se tomarmos a potência de saída em dBm, e deduzirmos dela a margem que queremos para picos e transientes, e mais o ganho do próprio amplificador, teremos o nível necessário do sinal de entrada, expresso em dBm.

Se o valor disponível para entrarmos no amplificador for superior ao que calculamos, tudo bem.

Bastará atenuá-lo no atenuador de entrada do amplificador. Mas se ele for inferior, estaremos diante de um problema.

Só que isso tudo não acontece por acaso.

Num sistema bem projetado, o projetista já terá calculado tudo para que o sinal disponível jamais seja inferior ao que é realmente necessário.

12.2.3 Ajustando a Estrutura de Ganho do Sistema O sistema de reforço bastante simples da figura 12.6 já é o suficiente para que possamos discutir o ajuste da estrutura de ganho do sistema.

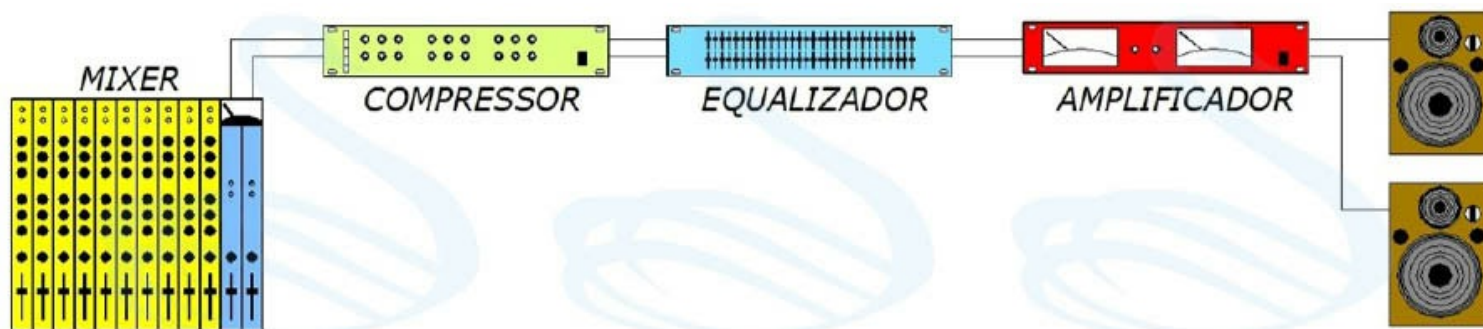


figura 12.6 sistema de reforço no qual faremos o ajuste da estrutura de ganho acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne **12.2.3.1 O Modo Errado** Vamos imaginar uma cena. A estrutura de ganho de um sistema vai ser ajustada pelo Sr. Catodo, que não domina o trabalho que tem pela frente.

Sabedor de suas deficiências, mas antecipadamente encarregado desta tarefa, nosso personagem aproveitou para ouvir atentamente e registrar alguns dos muitos “conselhos” que lhe foram dados pouco antes de ter que realizá-la.

O mais importante desses conselhos parece ter sido o do vendedor da loja, que afirmou solenemente “mantenha os atenuadores dos amplificadores todos abertos, e você vai ver só o somzão que vai ser”.

O Sr. Catodo começou seu trabalho neutralizando e energizando o sistema como manda o figurino. E ainda sem muita confiança partiu para os ajustes de estrutura de ganho.

Como ele não era bobo nem nada, sua primeira providência foi girar os atenuadores dos dois canais do amplificador para suas máximas posições horárias.

A seguir, deu uma boa olhada nos manuais dos processadores de sinais.

Achou que devia ajustar todos os controles de ganho existentes nesses aparelhos para o que era recomendado. Isto é, ganhos unitários. Manteve as ações dos processadores neutralizadas, sem contudo tirá-los eletricamente do encadeamento.

Seu próximo passo foi ler o manual da console. Onde viu que a sensibilidade de entrada para microfones dos canais era - 60 dBm.

Ainda um pouco preocupado, o Sr. Catodo endereçou o canal escolhido para os subgrupos 1 e 2, indo daí para os masters, cuidando para que o pan pot do canal ficasse em sua posição central. Sabia que assim os sinais chegariam igualmente aos dois subgrupos. Que tratou de endereçar para os masters. Subgrupo 1 para o master L e subgrupo 2 para o master R.

Como tinha um gerador de ruído rosa por perto, tratou de ligá-lo ao canal escolhido da console. E ajustou o gerador para que o sinal em sua saída fosse - 60 dBm.

Seguindo os mandamentos, o Sr. Catodo começou a aumentar o ganho de entrada do canal, enquanto ficava de olho no correspondente led indicador de picos.

Notou que podia aumentar todo o controle gain sem que o led acendesse. Desconfiado, ligou o fone de ouvido e passou a monitorar o canal com o PFL acionado.

E confirmou que realmente não havia traços de distorção.

Animado com isso, e só para ver no que daria, o Sr. Catodo resolveu então tirar o pad do canal da circuitação, que até então estava acionado. Mesmo com o pad fora do circuito o led continuava apagado.

E a monitoração PFL indicava que tudo estava correndo bem. Que bom, pensou o Sr. Catodo. Julgando que as coisas estavam saindo melhor do que esperava.

Sem pad e com o controle de ganho de entrada totalmente aberto, e ainda sem distorções, o Sr. Catodo se lembrou de um outro “conselho quente” dado na loja.

Idealmente, o fader do canal deveria ficar a 2/3 de seu curso total. Então ele foi subindo aos poucos o fader do canal, que era graduado de - ∞ em sua parte inferior até - 10 na parte superior. E a marca 0 realmente ficava a 2/3 do curso total do fader.

Refletindo no que ouvira, o Sr. Catodo resolveu que esse seria mesmo o melhor lugar para o fader do canal.

Bem, o sinal do canal já devia estar chegando aos subgrupos.

Ao mover os faders dos subgrupos, as agulhas dos medidores VI subiram correspondentemente.

E agora o Sr. Catodo começou a se sentir mais à vontade. Deixou os faders nas posições 0,

e leu 0 VU nos medidores dos dois subgrupos.

Tudo estava indo muito bem.

E aqui nosso personagem tinha recebido um “conselho” especial. Ir com muita calma com os master faders. E a razão de ser desse conselho foi logo percebida. Um ligeiro e pequeno movimento nos faders dos masters e os cones dos falantes quase saíram voando pela sala.

Quase que mecanicamente o Sr. Catodo retrocedeu com estes faders, até que o volume ainda lhe parecesse bem elevado, mas sem exageros. Refeito do susto, concluiu que o “somzão” realmente estava lá.

Para ajustar melhor o sistema ele ainda tinha que fazer algumas medições. Armou-se de um medidor de nível de pressão sonora e foi conferir os níveis a 1,0 metro dos falantes, para compará-los com o que o projetista havia especificado. Entusiasmou-se todo quando viu que os níveis obtidos eram pouca coisa superiores aos exigidos.

Como aquilo não era um campeonato, mas parte do alinhamento, o Sr. Catodo deixou de lado seu orgulho e tratou de reduzir ainda mais um pouquinho os master faders, até o ponto em que a pressão sonora lida no medidor correspondia ao que o projetista queria.

Tudo parecia bem. Muito bem mesmo. Enquanto se refazia do desgaste emocional por que passara, o Sr. Catodo deixou o sistema ligado enquanto apreciava a console e tomava um gole de água.

Êpa ! Até então ele não tinha reparado num detalhe, que de fato lhe pareceu um pouco estranho. Ao olhar para os medidores VI dos masters da console, as agulhas praticamente não se moviam. Mas ainda exultante com seu feito, achou que esse mero detalhezinho não era nada em comparação com o que interessava mesmo. Afinal o “somzão” estava lá, não estava?

Pensando exatamente dessa forma o Sr. Catodo esfregou as mãos em sinal de triunfo e deu sua tarefa por concluída. Ufa !!

12.2.3.2 O Modo Certo Nesta outra cena que vamos imaginar, não existe mais o Sr. Catodo. A mesma tarefa de antes seria confiada agora ao Sr. Grade. Que era um técnico de mão cheia, e por isso mesmo sabia muito bem como fazê-la.

Antes de começar os ajustes da estrutura de ganho do modo correto, a primeira coisa que o Sr. Grade quis foi saber quais eram as especificações básicas dos componentes do sistema.

Bem como todas as recomendações do projetista quanto aos ajustes desejados.

E ele deu preferência por coletar esses dados de modo sistematizado. A forma que ele utilizou foi tabulando as figuras requeridas, como na tabela 12.1.

tabela 12.1

APARELHO	PARÂMETRO	ESPECIFICAÇÃO
microfones	sens (nível de potência)	- 60,0 dBm (94 L _P)
mixers	sens máxima de entrada (mike)	- 60 dBm
	sens máxima de entrada (line)	- 10 dBm
	nível nominal de saída	+ 4,0 dBm
	nível máximo de saída	+ 24,0 dBm
	nível de ruído residual	- 60,0 dBm
processadores	nível nominal de entrada	+ 4,0 dBm
	nível máximo de entrada	+ 24,0 dBm
	nível nominal de saída	+ 4,0 dBm
	nível máximo de saída	+ 24,0 dBm
	nível de ruído residual	- 90,0 dBm
amplificador	sens nominal de entrada	0 dBm
	potência de saída/canal	1000 watts @ 8Ω, 1800 watts @ 4Ω
caixas acústicas	sensibilidade axial	105 L _P / 0 dBW/1,0m
	impedância nominal	8Ω
	máxima potência admissível	2000 watts (33 dBW)
observações: 1. em princípio, operar todos os processadores com ganho unitário 2. L _P a 1,0 metro de cada caixa acústica = 115 L _P (média de programa) 3. TPM ao longo de toda a cadeia de áudio = 20,0 dB		

NOTA: os dados da tabela 12.1 são totalmente hipotéticos. Quaisquer semelhanças com aparelhos reais serão meras coincidências.

Obtidos esses elementos, o Sr. Grade energizou o sistema. Exatamente como no caso anterior.

Ainda como no caso anterior, e seguindo as recomendações do projetista, o Sr. Grade iria operar todos os processadores com ganho unitário. A menos que houvessem razões para fazer ajustes de modo diferente. Para isso, a taxa de compressão do compressor seria ajustada para que os sinais não ultrapassassem + 24,0 dBm na saída do processador.

O sinal proveniente do gerador de ruído rosa com nível de - 60 dBm foi então ligado a um dos canais de entrada da console. Como o sinal de entrada era baixo, o Sr. Grade sabia que podia e devia tirar o pad da circulação. E foi o que fez.

A seguir, aumentou o controle gain. Chegou ao final do curso sem traços de distorção. Nesta posição do controle gain, o led indicador de sobrecarga permanecia apagado. E o Sr. Grade sabia que isso acontecia porque o sinal estava muito abaixo do ponto em que o indicador de pico começaria a indicar.

Isto é, cerca de 3,0 dB abaixo do ponto de clipamento. O canal foi então endereçado para os subgrupos 1 e 2, com o pan pot em sua posição central. E o fader do canal foi aumentado até o ponto 0, a 2/3 de seu curso.

O mesmo foi feito com os faders dos subgrupos 1 e 2, cujos medidores VI passaram a

mostrar as marcas 0 VU.

Como os atenuadores dos dois canais do amplificador estavam em suas posições de máxima atenuação, o Sr. Grade podia trabalhar à vontade com os masters faders. E assim, os mesmos foram levados até que os medidores VI principais indicassem as marcas 0 VU.

Nessas condições os níveis de saída em cada master da console deveriam ser +4,0 dBm. Ou melhor, + 4 VU.

O Sr. Grade consultou sua tabela, e viu que o limite da console era + 24,0 dBm. E concluiu que estava preservando a margem de 20,0 dB na console, como solicitado pelo projetista.

Os níveis nominais dos sinais de entrada no primeiro dos processadores, que era o compressor, seriam + 4,0 dBm.

Podendo excursionar até + 24,0 dBm. Assim, dentro da capacidade do aparelho. Com ganho unitário, os níveis dos sinais de saída também seriam + 4,0 dBm.

Entretanto, agora, o Sr. Grade ajustou a taxa de compressão e o limiar , para que picos dos sinais não atingissem os + 24,0 dBm.

Com esses mesmos níveis de entrada e de saída no equalizador, que era o segundo processador da cadeia, os limites deste aparelho também estavam sendo preservados.

Com os níveis de entrada e de saída nominais e máximos nos processadores, a margem de 10,0 dB estaria sendo mantida.

Pura coincidência? Absolutamente não.

Ao contrário, coisa pensada e muito bem resolvida pelo projetista. E muito bem executada pelo técnico.

Viram como os bons projetos eliminam problemas potenciais? E bons técnicos também?

Com o segundo processador operando com ganho unitário, os níveis nominais de sinal nas entradas do amplificador seriam +4,0 dBm, com picos máximos de + 24,0 dBm.

Neste ponto o Sr. Grade resolveu fazer umas continhas.

Inicialmente, trabalhou com a sensibilidade axial das caixas acústicas e com o nível de programa solicitado a 1,0 metro delas. E calculou o quanto precisava de potência elétrica na saída de cada canal do amplificador:

$$115 L_P - 105 L_P / 0 \text{ dBW} / 1\text{m} = 10 \text{ dBW} (10 \text{ watts})$$

A seguir, converteu essa potência em dBm

$$10 \log(10/0,001) = + 40,0 \text{ dBm}$$

O Sr. Grade sabia que se a entrada em cada canal do amplificador fosse 0 dBm, a saída

seria $0 \text{ dBm} + 60,0 \text{ dB} = 60,0 \text{ dBm}$ (1.000 watts). Logo, para que as saídas fossem de apenas $+40,0 \text{ dBm}$, as entradas deveriam ser $-20,0 \text{ dBm}$.

Como os sinais provenientes da saída do equalizador teriam níveis nominais de $+4,0 \text{ dBm}$, era preciso atenuação de $24,0 \text{ dB}$. E ao invés de fazer o que o Sr. Catodo fez, o Sr. Grade usou os atenuadores do amplificador para obter a atenuação desejada.

Alguns amplificadores disponíveis no mercado possuem atenuadores graduados em dB. Sua única utilidade é nos informar quantos dB estamos atenuando para cada posição do atenuador. Assim como fez o Sr. Grade.

Sem esse recurso, teremos que conferir o nível de entrada, e ir medindo a entrada ou a saída enquanto reduzimos a atenuação (girando o controle no sentido horário).

Se bem que também é conveniente fazermos isso se não confiarmos na graduação dos atenuadores dos amplificadores que estamos usando.

O Sr. Grade também sabia que quando os sinais nas saídas do equalizador chegassem a $+24,0 \text{ dBm}$, já com a atenuação de $24,0 \text{ dB}$, então as saídas do amplificador seriam $+60,0 \text{ dBm}$, ou 1.000 watts.

Portanto, mantendo a margem de $20,0 \text{ dB}$, e ainda, dentro dos limites do amplificador e das caixas acústicas.

Nesse momento, o Sr. Grade tomou o medidor de nível de pressão sonora, e sem surpresa mediu $115,0 \text{ LP}$ a $1,0 \text{ metro}$ de cada caixa acústica.

Com a TPM mantida ao longo de toda a cadeia de áudio, esta etapa do alinhamento foi dada por concluída.

12.2.3.3 O Modo Errado x O Modo Certo - Uma Comparação

Vamos comparar as estruturas de ganho feitas do modo errado e do modo certo para evidenciar quais são as diferenças.

As relações sinal/ruído assinaladas com (*) na tabela 12.2 são ligeiramente melhores do que os valores reais. Isto porque, para simplificação, os ruídos residuais dos processadores não foram considerados. Entretanto, se fizermos as contas, veremos que as diferenças são realmente desprezíveis.

Se examinarmos os dados da tabela, notaremos que, no caso de nosso exemplo, fazer os ajustes do modo correto e do modo errado conduz a uma diferença nas relações sinal/ruído de $24,0 \text{ dB}$.

Portanto, teremos bem menos ruídos de fundo no caso do ajuste feito corretamente.

Isso é bem mais visível quando trabalhamos com os gráficos das estruturas de ganho.

É o que nos mostram as figuras 12.7 e 12.8.

Respectivamente para os modos errado e correto.

Vemos que o primeiro ajuste é errado porque a relação sinal/ruído obtida fica muito aquém daquilo que é realmente possível obter. E agora estamos interessados em saber onde estão os erros.

O maior erro é ter na saída da console um sinal com nível muito baixo. De fato, como o ruído residual é constante, quanto mais baixo for o sinal de saída, menor será a relação sinal/ruído.

A diferença de 24,0 dB é evidente na tabela 12.2. O sintoma disso foi o pareceu estranho ao Sr. Catodo.

Aquele mero detalhezinho que, infelizmente, não pode ser traduzido de outra forma.

tabela 12.2

NÍVEIS	MODO ERRADO	MODO CERTO
entrada no mixer	- 60 dBm	- 60 dBm
saída do mixer	- 20 dBm	+ 4 dBm
TPM no mixer	44 dB	20 dB
relação sinal/ ruído na saída do mixer	- 40 dB	- 64 dB
entrada no compressor	- 20 dBm	+ 4 dBm
saída do compressor	- 20 dBm	+ 4 dBm
TPM na saída do compressor	44 dB	20 dB
relação sinal/ruído na saída do compressor	- 40 dB *	- 64 dB *
entrada no equalizador	- 20 dBm	+ 4 dBm
saída do equalizador	- 20 dBm	+ 4 dBm
TPM no equalizador	44 dB	20 dB
relação sinal/ruído na saída do equalizador	- 40 dB *	- 64 dB *
entrada em cada canal do amplificador	- 20 dBm	+ 4 dBm
atenuação de entrada em cada canal do amplificador	0 dB	24 dB
entrada em cada canal do amplificador após atenuação	- 20 dBm	- 20 dBm
ganho de cada canal do amplificador	60 dB	60 dB
saída de cada canal do amplificador	+ 40 dBm (10 watts)	+ 40 dBm (10 watts)
saída máxima de cada canal do amplificador	+ 60 dBm (1000 watts)	+ 60 dBm (1000 watts)
TPM em cada canal do amplificador	20 dB	20 dB
sensibilidade das caixas acústicas	105 Lp/0 dBW/1m	105 Lp/0 dBW/1m
Lp médio de programa	105 + 10 dBW = 115 LP	105 + 10 dBW = 115 LP
Lp máximo de pico	105 + 30 dBW = 135 LP	105 + 30 dBW = 135 LP

E nem sempre os resultados de medidas semelhantes são avaliados com mais perspicácia.

Uma vez que chegemos com baixa relação sinal/ruído nas entradas dos amplificadores, não há mais como recuperar o prejuízo.

Porque, nesse sentido, amplificadores são cegos. Eles amplificam sinais e ruídos indistintamente.

Com o mesmo ganho.

E se não introduzissem seus próprios ruídos, a baixa relação sinal/ruído seria mantida.

Mas como amplificadores também introduzem ruídos, a relação é degradada ainda mais um pouquinho.

Podemos estabelecer o seguinte critério: ajusta-se o sistema para que o ganho seja obtido o mais cedo possível.

Isto é, quanto mais próximo possível do microfone.

Esses ganhos deverão ser sempre os mais elevados que for possível obter. O limite desse possível é a preservação da TPM.

O que se aplica não só à console, mas a cada um dos aparelhos da cadeia de áudio. Inclusive amplificador. Sempre se inicia este ajuste pelo lado do microfone até chegar aos amplificadores de potência. Onde são feitos os ajustes finais de atenuação.

Onde necessário, deve-se usar atenuadores calculados para que tenham os valores de atenuação desejados.

Em seu item 11.7, o livro Sound Reinforcement Handbook, escrito para a Yamaha por Gary Davis e Ralph Jones, aborda o tema estrutura de ganho. No subitem 11.7.4.2, página 175, os autores recomendam que, caso o amplificador não disponha de atenuadores de entrada, os ganhos sejam eqüitativamente reduzidos ao longo de todos os controles da console.

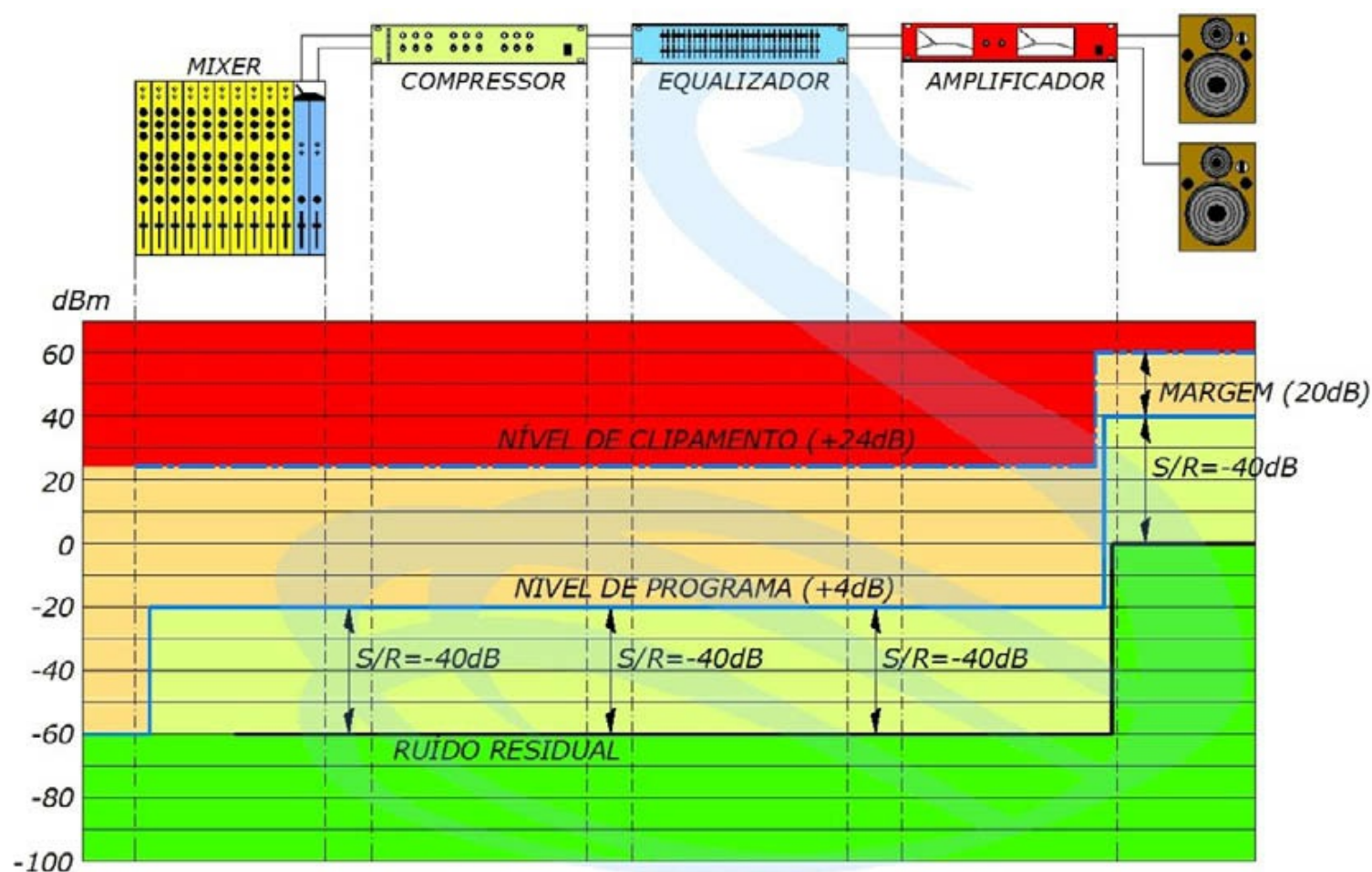


figura 12.7 estrutura de ganho do sistema inadequadamente ajustado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

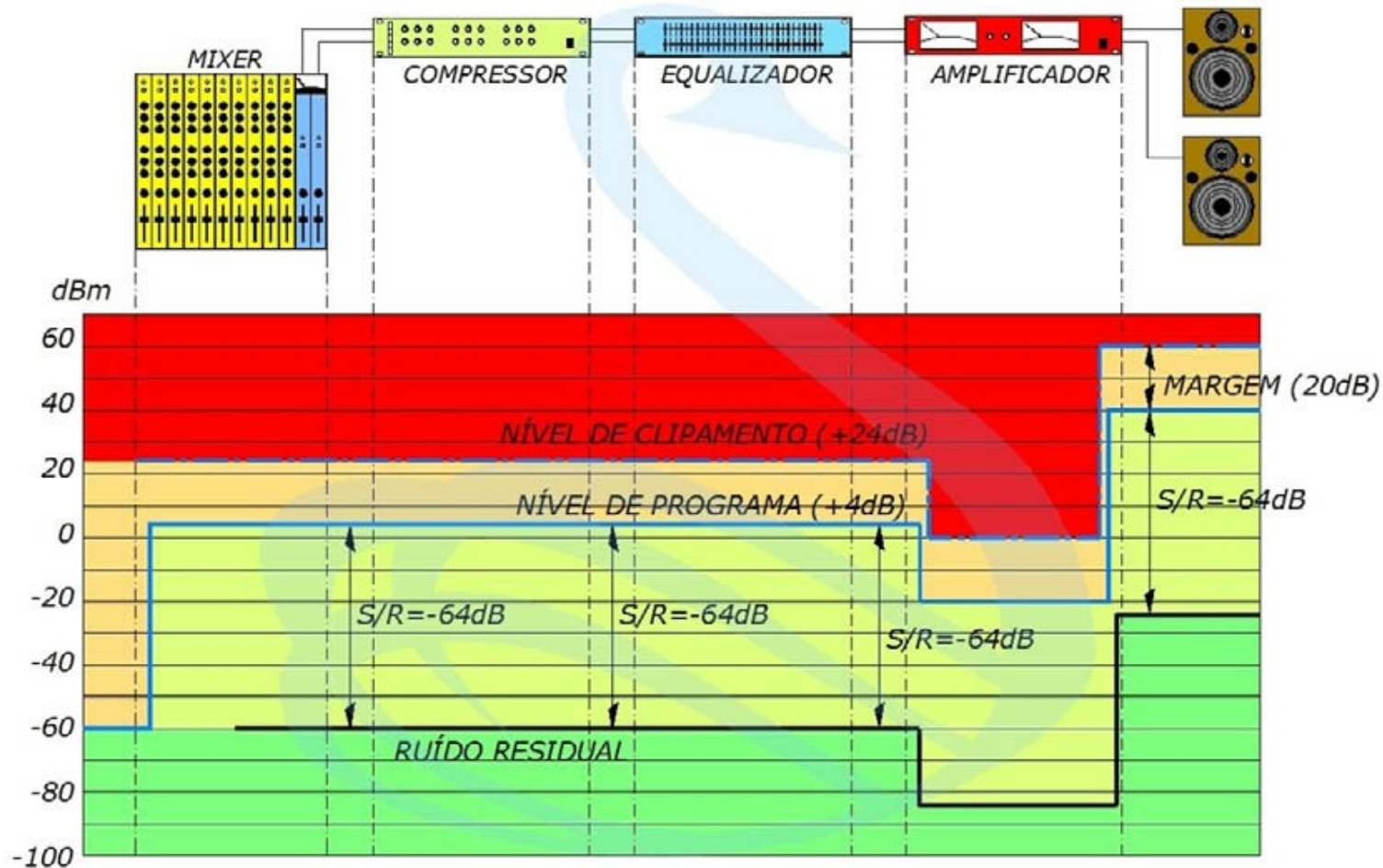


figura 12.8 estrutura de ganho do sistema adequadamente ajustado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Respeito a opinião dos autores, e reconheço o excelente trabalho que fizeram no livro citado. Mas no particular caso da estrutura de ganho sou obrigado a discordar, e recomendo com firmeza a meus leitores que não sigam a prática sugerida por aqueles colegas. Ao invés disso, recomendo que se obtenha mesmo o máximo ganho possível na console, sem quaisquer concessões, e que no lugar dos atenuadores de entrada dos amplificadores sejam utilizados atenuadores externos fixos. Tal como vimos no capítulo 8.

A diferença certamente será muitos dB a mais na relação sinal/ruído.

Lidar com atenuadores fixos pode até ser uma tarefa simples para engenheiros e técnicos experientes.

Mas com certeza haverá grau variável de dificuldade para os indivíduos não técnicos. Já que tenho recomendado sistematicamente o emprego desses dispositivos, me vi praticamente obrigado a oferecer um mínimo de subsídios a respeito.

Bem, lembro que no item 8.6 do capítulo 8 já vimos os atenuadores U e π . Agora, vamos continuar com outros tipos de atenuadores.

Este é um momento muito adequado para recordarmos o “casamento de voltagem” que estudamos no capítulo 8.

A figura 12.9.A mostra claramente que as interligações são melhores quando as impedâncias de saída são baixas, e “enxergam” elevadas impedâncias de entrada no aparelho que alimentam. A figura 12.9.B mostra como o atenuador fixo pode ser inserido entre dois aparelhos, a fonte a carga.

A estas alturas deve parecer óbvio que, se possível, devemos projetar atenuadores com

elevadas impedâncias de entrada, e baixas impedâncias de saída.

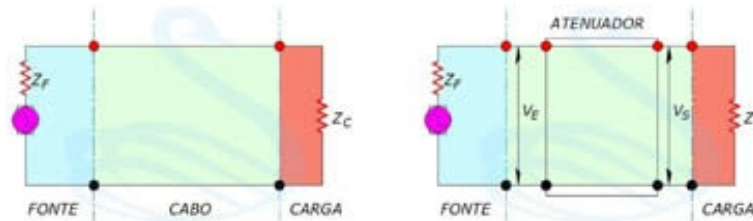


figura 12.9 modelo fundamental de uso de atenuador fixo, com o mesmo inserido entre dois aparelhos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isto posto, vamos lembrar que atenuadores fixos são redes resistivas simples. Isto é, circuitos elementares construídos apenas com resistores ligados das maneiras mais simples que se pode imaginar em eletrônica.

Na maioria das vezes, a atenuação desejada será considerável. Digamos, acima de 15,0 dB. Um dos atenuadores fixos mais utilizados para esses casos é o tipo L, cuja configuração é a da figura 12.10.A.

Vemos que são empregados apenas dois resistores. Para uma interligação com atenuador tipo L, devemos ter em conta os seguintes aspectos:

- jamais permita que seu programa tenha quaisquer traços de distorção por clipamento, que é o risco que todos corremos quando pretendemos obter as mais elevadas relações sinal/ruído
- confie no medidor VI, mas sabendo qual é sua sensibilidade, e desde que tenha se assegurado que ele está bem calibrado
- usualmente a impedância de saída da fonte é bastante baixa
- usualmente a impedância de entrada da carga é bastante elevada
- o valor de R_1 pode ser muito mais elevado do que o de R_2

- o valor da combinação de R_2 em paralelo com a impedância de entrada da carga será um pouco inferior ao valor de R_2 sozinho
- a impedância que a fonte enxerga é esse valor reduzido em série com R_1 , que é elevado
- se desprezarmos aquela parcela reduzida da série, a fonte enxergará apenas R_1
- a baixa impedância de saída do atenuador enxergará apenas a elevada impedância de entrada da carga

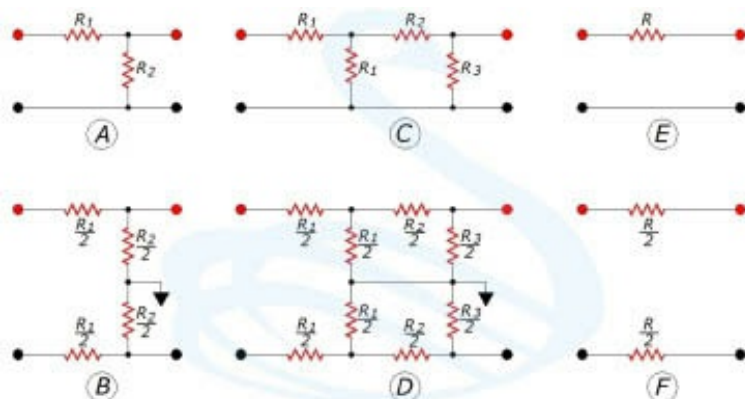


figura 12.10 atenuadores fixos A e B tipo L, configurações não balanceada e balanceada, respectivamente C e D tipo duplo L em tandem, configurações não balanceada e balanceada, respectivamente E e F tipo MAL, configurações não balanceada e balanceada, respectivamente acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Desse modo, a voltagem que a fonte entrega para o atenuador é aproximadamente a mesma que ela entregaria para a carga, se não houvesse atenuador.

Os cálculos do atenuador ficam bem mais simples se ao invés de trabalhar com a atenuação

desejada em dB, utilizarmos a relação entre a voltagem na entrada do atenuador (V_E), e a voltagem em sua saída (V_S).

Para encontrar a relação das voltagens, lembre-se que a atenuação pode ser escrita

$$Aten(dB) = 20 \log \frac{V_E}{V_S} \quad (12.1)$$

Chamando a relação V_E / V_S de K , vem

$$\frac{V_E}{V_S} = K = 10^{\frac{Aten(dB)}{20}} \quad (12.2)$$

A relação dos resistores no atenuador tipo L é dada por

$$\frac{R_1}{R_2} = K - 1 \quad (12.3)$$

Neste ponto, escolhemos os resistores de forma a guardar a relação da expressão 12.3, e, tanto quanto possível, satisfazer a condição de elevada impedância de entrada e de baixa impedância de saída.

Vamos ver isso com um exemplo. Estamos diante de uma interligação “casamento de voltagem”, e queremos atenuação de 25,0 dB.

A primeira coisa a fazer é determinar K .

Podemos escrever:

$$K = 10^{\frac{25}{20}} = 10^{1,25} \cong 17,78$$

Se queremos um valor elevado de impedância de entrada, podemos escolher $R_1 = 10.000 \Omega$, e calcular $R_2 = 596 \Omega$.

Nota-se que a configuração da figura 12.10.A é não balanceada. A configuração balanceada é a da figura 12.10.B. Para obtê-la faça os cálculos como fizemos para a configuração não balanceada, utilize resistores com metade do valor estabelecido para R_1 em cada ramo de entrada do atenuador, e dois resistores dos ramos de saída para terra, cada qual com metade do valor calculado para R_2 .

Para a aplicação que estamos dando ao atenuador tipo L, quanto menor é a atenuação, maior é R_2 em relação à R_1 . Até um ponto em que R_2 torna-se muito elevado, e pouco conveniente para nossos propósitos. Assim, recomendo que os atenuadores tipo L só sejam usados para atenuações superiores a 15,0 dB.

Para a faixa de atenuação que vai de 9,0 a 15,0 dB, sugiro o uso de uma configuração

híbrida, formada por dois atenuadores L ligados em tandem, como mostra a figura 12.10.C. Agora, os dois resistores R_1 formam um atenuador de 6,0 dB, já que a voltagem de entrada no atenuador fica igualmente dividida entre esses dois resistores.

A seguir, calcula-se R_2 e R_3 para que tenhamos a atenuação adicional desejada, utilizando a expressão:

$$\frac{R_2}{R_3} = K' - 1 \quad (12.4)$$

Sendo K' refere-se apenas à atenuação adicional, portanto já descontada atenuação de 6,0 dB obtida na primeira seção do atenuador, com os resistores R_1 .

Vamos a outro exemplo.

Ainda estamos lidando com casamento de voltagem, mas a atenuação desejada agora é de apenas 16,0 dB.

Determinamos $R_1 = 10.000 \, \Omega$, e sabemos que teremos 6,0 de atenuação na saída da primeira seção.

A seguir, calculamos

$$K' = 10^{\frac{10}{20}} = 10^{0,5} = 3,16$$

Se fizermos R_3 igual a $600 \, \Omega$, calculamos $R_2 = 1.297 \, \Omega$.

Assim como era válido para os atenuadores tipo L, agora também é possível utilizar configuração balanceada. É o que mostra a figura 12.12.D.

Para atenuações inferiores a 9,0 dB você pode usar a configuração de atenuador da figura 12.10.E, chamado atenuador de perda mínima, ou MLA. Lá está um único resistor, que pode ser calculado pela expressão:

$$R = Z_C (K - 1) \quad (12.5)$$

Sendo Z_C a impedância da carga, em ohms.

Exemplo: queremos atenuação de 2,8 dB, e a impedância da carga é $12.000 \, \Omega$.

Basta calcular

$$K = 10^{\frac{2,8}{20}} \cong 1,38$$

Logo, R resulta igual 4.560 Ω .

A figura 12.10.F mostra a versão balanceada de um MLA.

Quando estiver construindo atenuadores balanceados, procure utilizar resistores nos dois ramos com valores tão próximos quanto possível, de maneira a não introduzir desbalanceamentos desnecessários.

Quem quiser entrar mais detalhadamente no assunto atenuadores fixos, e mesmo variáveis, encontrará farta literatura em muitos livros de eletrônica.

12.2.3.4 O Modo Certo na Prática, ou o Primeiro Sound Check O que vimos acima é uma parte bem importante do alinhamento de qualquer sistema. Dessa maneira podemos verificar que relação sinal/ruído pode ser obtida.

Por outro lado, uma vez ajustado o sistema, ele passará a ser operado em seu cotidiano.

E assim, o ajuste original da estrutura de ganho dificilmente pode ser mantido. Porque cada microfone utilizado irá gerar seu próprio nível de sinal.

Dessa forma, cada vez que o sistema for utilizado para um evento diferente, um novo ajuste deverá ser feito.

Embora os ajustes para cada nova estrutura de ganho possam ser diferentes do que fizemos para alinhar corretamente o sistema pela primeira vez, os critérios que estabelecemos devem ser observados cada vez que se fizer um novo ajuste de ganho.

Durante o primeiro sound check o operador já terá que fazer esse ajuste. Vejamos então um exemplo de como podem ser os correspondentes procedimentos.

Os ajustes para eventos são feitos durante os ensaios.

Todos os microfones que são utilizados devem estar ligados nos canais desejados.

Os atenuadores dos amplificadores estão todos em suas posições de máxima atenuação.

Os ajustes de uma típica console são os seguintes: • channel off/on na posição off (ou se houver recurso mute, o mesmo deverá estar acionado) • ganho de entrada do canal (trim) em sua posição totalmente anti-horária • pads desligados

- faders dos canais em suas posições inferiores • faders dos subgrupos em suas posições “0”
- masters faders em suas posições “0”
- mandadas auxiliares, de efeito e de monitor em suas posições totalmente anti-horárias •

masters de auxiliares, de efeito e de monitor em suas posições totalmente anti-horárias •
retornos de auxiliar, de efeito, e outros em suas posições totalmente anti-horárias •
endereçamento de acordo com o que for preciso Ligue agora o canal 1 e peça ao músico
que está utilizando o correspondente microfone para que toque ou cante usando
normalmente o microfone, como se fosse durante o espetáculo. Peça também que ele
simule o volume mais alto esperado para qualquer trecho durante todo o espetáculo.

Mas prepare-se. Por mais boa vontade que o músico possa ter, e por mais esforço que ele
faça, as chances são de que, durante o espetáculo, os níveis sejam mais elevados do que os
simulados. Mas ao menos você já terá um ponto de partida.

Seu objetivo agora é determinar em que ponto o led indicador de pico se acenderá.

Sempre há a possibilidade do led se acender mesmo com o controle gain em sua posição
totalmente anti-horária. Nesse caso, introduza o pad na circuitação do canal.

Com ou sem pad na circuitação, vá girando o controle gain no sentido horário enquanto
presta atenção no led indicador de picos do canal. Use também o fone de ouvido para solar o
canal.

Quando o led de acender indicando que picos estão na iminência de distorcer o sinal, volte
um pouquinho o controle gain do canal. Lembre-se que a maioria dos leds acende quando os
picos atingem 3,0 dB abaixo do ponto de clipamento.

Uma vez ajustado o nível do canal 1, repita a mesma operação para todos os demais canais
em uso.

Se houver um baterista no grupo, peça-lhe que toque seu instrumento, e trabalhe os sinais
de todos os microfones provenientes da bateria.

Peça agora para todo o grupo tocar, e trabalhe os sinais como um todo.

Os medidores VI dos subgrupos e dos masters deverão indicar 0 VU quando o grupo
estiver tocando a níveis médios de pressão sonora.

Em linguagem musical, de mezzo forte para forte.

Os leds indicadores de pico poderão acender ocasionalmente em passagens com picos
mais elevados.

12.2.4 Equalização O termo equalização, como geralmente empregado, é uma degeneração do
nome original. Inicialmente, seu sentido era o de descrever o ato de tornar plana uma resposta
de frequência que, por qualquer motivo, tivesse perdido suas características.

Assim, equalizar significa tornar igual. Ou igualizar. Mas isso não se aplica integralmente
ao que hoje conhecemos como equalização.

E esta reflexão nos remete diretamente para os motivos pelo qual precisamos equalizar um

sistema. E se é assim, antes de iniciarmos qualquer equalização é bom que saibamos realmente porque ela é necessária.

É de todo conveniente que estejamos muito bem preparados para discutir o assunto como um todo. E o preparo inclui não ter quaisquer dúvidas sobre • ruído rosa

- ondas estacionárias • o que faz um sistema de reforço acústico microfonar

Todos esses tópicos já foram discutidos anteriormente.

A todos os que ainda não se sentirem suficientemente seguros sobre eles, recomendo que dediquem um pouquinho de tempo com as recordações julgadas necessárias, antes de prosseguir.

E agora, sem dúvidas, vamos lá.

A equalização é tão velha quanto os sistemas de áudio. Quem não se lembra dos controles de graves e agudos dos sistemas da alta fidelidade? É, eles estão conosco há muitas décadas. Esses equalizadores são ajustáveis, porque podemos alterar a gosto os parâmetros de seus filtros.

Tão velhos quanto eles são os equalizadores fixos. Como os circuitos RIAA, muito utilizados para a gravação e reprodução das bolachas vinílicas. O mesmo pode ser dito dos circuitos que introduzem pré-ênfase nos programas de rádio transmitidos em FM, posteriormente submetidos à de-ênfase, que é o processo inverso, feito em nossos receptores.

Há três tipos nitidamente distintos de equalização que podemos fazer num sistema profissional de áudio: • equalização sistema de som-ambiente, ou equalização da casa • formatação da resposta acústica • equalização de programa A equalização da casa nos sistemas profissionais sempre foi feita com equalizadores de vários tipos, ou conjuntos de filtros inseridos na cadeia do áudio.

Os equalizadores gráficos de 1/3 de oitava, introduzidos no mercado em 1.967, e o lançamento dos analisadores de espectro de áudio em tempo real (RTA) de 1/3 de oitava, em 1.968, mudariam radicalmente a história da equalização nos sistemas profissionais.

As vantagens dessa dupla sobre o aparato que lhes precedia era estonteante. Com ela era possível conseguir resultados bem mais precisos gastando-se muito menos tempo.

Os equalizadores de 1/3 de oitava logo se mostraram ferramentas muito mais poderosas do que qualquer outra forma de equalização até então utilizada. E os RTA permitiam que monitorássemos em tempo real e com muita precisão, à medida em que os ajustes eram feitos nos equalizadores.

Até aí, tudo bem. Mas para que serve mesmo a equalização da casa?

Vamos inverter um pouco a ordem das coisas. Vamos começar discutindo para que ela não serve.

De fato, há uma série de problemas com os sistemas de áudio que, erroneamente, e com muita frequência, se julga que podem ser resolvidos com a equalização da casa.

Nada intencional. Nem poderíamos criticar as pessoas que pensam desse modo.

Até porque muitos desses problemas são mesmo como camaleões. Possuindo excelentes propriedades de camuflagem.

Por outro lado, engenheiros e técnicos de áudio devem entender que a equalização está longe de ser um elixir universal. Realmente não podemos contar com ela como um remédio capaz de aplacar todos os males de um sistema.

É crença universal que a equalização da casa se faz para neutralizar, tanto quanto possível, as irregularidades das respostas acústicas provocadas pela interação sistema de som-ambiente.

Isso é tecnicamente correto. Mas não totalmente. De fato, a assertiva embute uma parcela de falsidade. Por exemplo, o efeito filtragem pente, visto no capítulo 6, é uma decorrência da interação sistema de som-ambiente. E isto é um dos exemplos mais contundentes do que não pode ser corrigido com a equalização da casa, nem com qualquer outra forma de equalização.

Microfones que recebem sons diretos e refletidos do chão e de outras superfícies também nos fazem padecer dos efeitos da filtragem pente. E aqui, da mesma forma, a solução não é a equalização.

Nos dois casos, o efeito deve ser eliminado de outro modo, preferencialmente na própria origem.

De maneira geral, filtros interpostos ao longo da cadeia de áudio do sistema, particularmente os que apresentam altas perdas por inserção, também podem promover irregularidades nas respostas acústicas.

Também aqui as soluções devem ser dadas na origem, e não procuradas com a equalização.

A equalização também não deve ser usada para eliminar ou reduzir realimentações provocadas por diafonia de circuitos, ou ainda, por realimentações mecânicas.

Além disso, a equalização da casa também não é solução para sistemas mal projetados, ou de qualidade inferior.

Equalizações também não podem corrigir valores de RT_{60} de ambientes fechados, nem melhorar o problema de ganho reduzido, ou mesmo de microfonia, quando o PAG é insuficiente.

12.2.4.1 Equalização Sistema de Som-Ambiente ou Equalização da Casa Vamos delirar um pouquinho. E construir mentalmente uma situação hipotética absolutamente irreal.

Todos os falantes que usamos em nosso “dream system” têm exatamente a resposta acústica que desejamos. Com os padrões de cobertura e de localização que sabemos ser impossíveis no

mundo real.

Claro, a plateia está homogeneamente coberta. E de tal modo que todos os ouvintes estão sujeitos ao mesmíssimo nível de pressão sonora.

Nossas caixas acústicas ideais também não projetam som para qualquer outra área, exceto para onde está a audiência. E esta é incapaz de refletir sons. Assim, todos os ouvintes têm a mesma inteligibilidade muito elevada.

Se esse conjunto de suposições fosse verdadeiro, não precisaríamos da equalização sistema de som-ambiente. A menos que quiséssemos introduzir propositadamente distorções, ou efeitos.

Como esse caso hipotético não acontece na vida real, à medida que nos afastamos dele a equalização da casa passa a ser cada mais vez uma contra medida necessária.

Vimos anteriormente o que acontece quando os sons são produzidos num local fechado. Na prática, os efeitos das ondas estacionárias, por exemplo num teatro, farão com que para cada poltrona haja um conjunto diferente de frequências que são mais ou menos reforçadas ou atenuadas, em relação a todas as demais poltronas.

Isto é, a interação sistema de som-ambiente brincarà cada espectador à sua própria maneira. E cada um deles terá uma resposta de frequência única, diferente do que terão todos os demais espectadores. O grau em que isso ocorre é o resultado da própria acústica de cada ambiente.

Esse fenômeno, também conhecido por coloração, tem grande influência sobre a reprodução da voz humana.

A coloração mais intensa dá ênfase monótona e pouco natural à voz de quem usa o microfone, conferindo-lhe um desagradável caráter de aspereza.

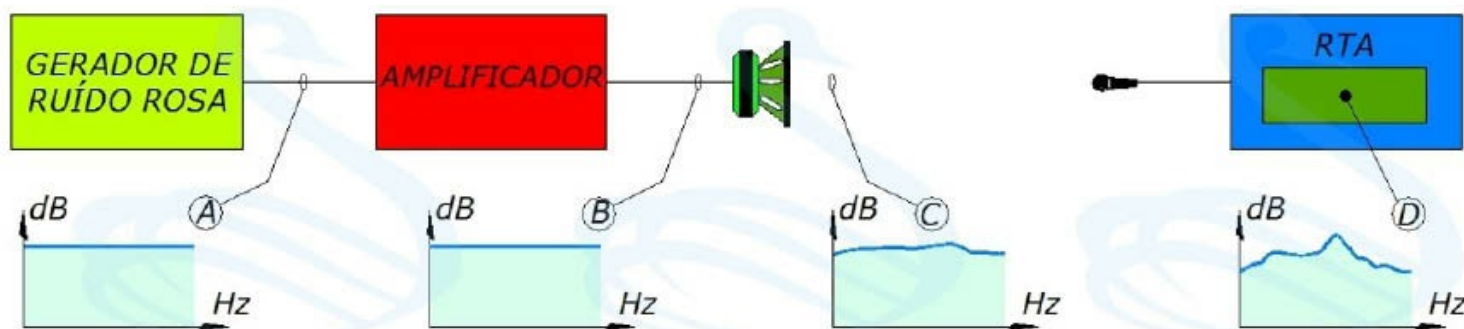


figura 12.11 sistema de reforço de som num ambiente fechado, com suas respostas elétricas e acústicas
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Imaginando que nossa estrutura de ganho já esteja bem ajustada, inclusive a parte referente aos crossovers eletrônicos, quando for o caso, podemos fazer uma medição interessante e muito ilustrativa.

A figura 12.11 nos mostra um sistema de reforço de som muito simples, alimentado por um GRR, ou gerador de ruído rosa, e 4 gráficos.

O gráfico A representa a resposta elétrica do GRR. O gráfico B mostra a resposta elétrica na saída do amplificador. Vemos que a resposta de frequência produzida pelo GRR, bastante

plana, praticamente não foi alterada pelo amplificador.

O gráfico C nos mostra a resposta acústica medida nas proximidades do falante. Embora ainda sem muita influência determinada pelas características acústicas da sala, vemos que o processo de transdução já altera a resposta do GRR. E o gráfico D nos mostra a resposta acústica num ponto qualquer da plateia, como medida por um RTA.

Vemos então que a curva acústica afasta-se consideravelmente dos padrões desejados. Ou seja, de uma resposta mais plana.

Isso acontece principalmente por consequência direta dos padrões de ondas estacionárias e de reflexões que caracterizam cada ambiente.

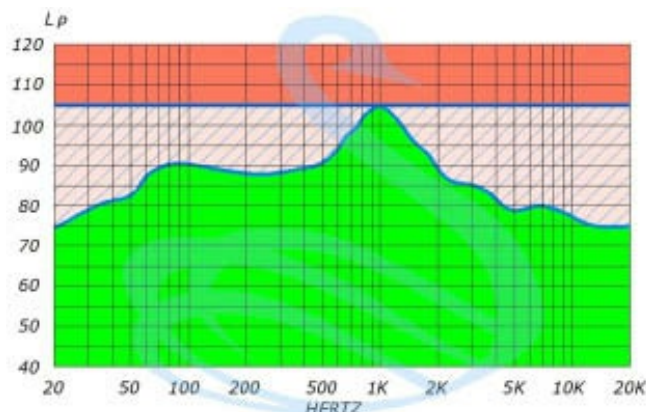


figura 12.12 curva da resposta acústica de um sistema de reforço de som não equalizado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O processo de transdução também introduz sua própria contribuição, mas geralmente de pequena monta se comparado com o motivo anterior.

A perfeita compreensão desse aspecto fundamental é essencial para todos os que querem dominar a arte de equalizar.

E agora vamos nos aprofundar um pouco mais na resposta acústica do sistema não equalizado. A figura 12.12 é uma ampliação do gráfico D da figura anterior.

A linha horizontal mais grossa representa o limite de ganho acústico do sistema, ou PAG. Logo, qualquer frequência que o ultrapasse provocará microfonia através dos mecanismos já discutidos no capítulo 6.

Vemos que a resposta acústica medida é bastante irregular. O nível de energia associado à frequência de 1.000 Hz é mais elevado do que os de todas as demais frequências. Se formos aumentando o ganho do sistema, a primeira frequência a atingir a linha do PAG será 1.000 Hz. E quando estivermos quase chegando nesse ponto, estaremos impedidos de aumentar mais o ganho do sistema.

Toda a região hachurada da figura 12.12, compreendida entre a curva correspondente à resposta acústica do conjunto sistema-sala, e o limite do sistema, representa o ganho acústico que temos disponível, mas que não podemos utilizar. Sob pena de termos microfonia.

Há dois grandes inconvenientes nesse tipo de distorção. O primeiro é o próprio resultado sônico, que é tão pior quanto mais a resposta acústica se afasta da elétrica.

O segundo não é só um inconveniente. Pode significar um sistema não operacional.

De fato, em seu dimensionamento, o projetista determinou que o ganho acústico suficiente, o SAG, deveria ser obtido quando o sistema fosse operado ao ganho acústico necessário, o NAG, observada a margem para estabilidade de realimentação, a FSM.

Naturalmente, essa condição deveria prevalecer para todas as frequências.

Melhor dizendo, para o espectro como um todo.

O que pressupõe que a resposta acústica do sistema deve ser relativamente plana. É extremamente importante que o engenheiro e o técnico de áudio entendam que, à medida que se aumenta o ganho do sistema, as frequências com níveis mais elevados do que as demais chegarão antes ao limite do sistema, o PAG, e então provocarão a microfonia, impedindo que se possa aumentar mais o ganho do sistema. Ainda que o tenhamos disponível.

Olhando para a figura 12.12 deve parecer óbvio que, se “aparmos” as irregularidades mais grosseiras da curva acústica, no caso o espectro contido entre 500 Hz e 2.000 Hz, já poderemos trabalhar com um ganho antes da realimentação mais elevado do que antes.

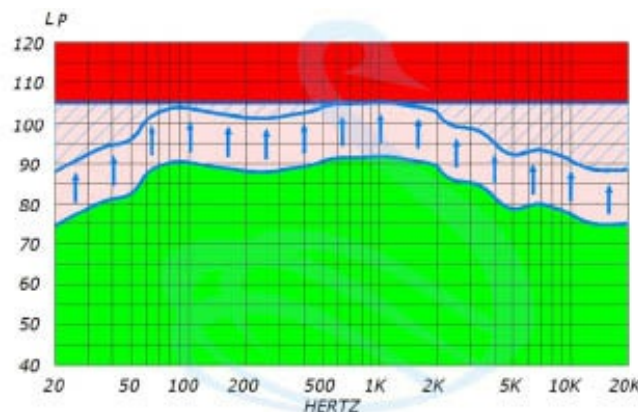


figura 12.13 curva da resposta acústica de um sistema de reforço de som com alguma equalização
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ao fazermos isso, podemos obter uma curva acústica como a da figura 12.13. Que nos mostra como podemos deslocar essa curva para cima, e portanto, o quanto de ganho antes da realimentação podemos recuperar com isso. Para comparar a situação anterior com esta, basta que comparemos as duas áreas hachuradas das figuras 12.12 e 12.13.

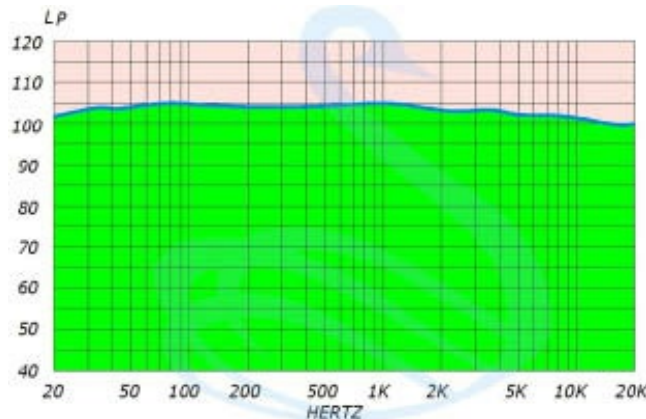


figura 12.14 curva da resposta acústica de um sistema de reforço de som equalizado
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A seguir, podemos nos aplicar mais para obter a curva acústica da figura 12.14, e aí teremos o sistema praticamente equalizado.

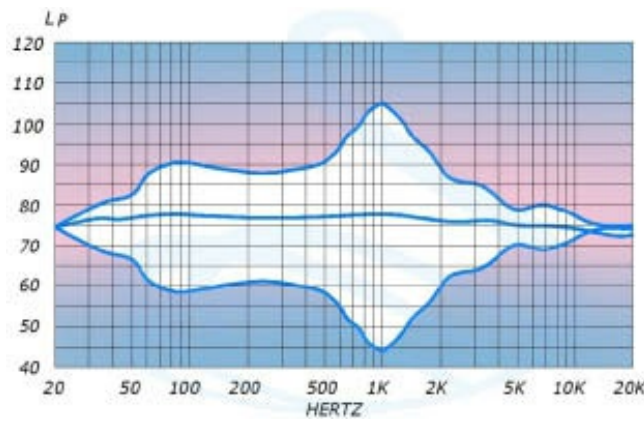


figura 12.15 curva acústica original do sistema não equalizado e resposta elétrica modificada pelo equalizador, necessária para equalizar o sistema acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 12.15 nos mostra a resposta acústica original, e a resposta elétrica alterada no equalizador, a grande responsável pela equalização do sistema. Vemos claramente que a alteração da resposta elétrica é como se fosse a imagem espelho da resposta acústica original.

O principal objetivo da equalização sistema de som-ambiente é aumentar o ganho antes da realimentação. O que é feito de forma indireta.

Tentamos compensar o efeito das características acústicas do ambiente, obtendo uma curva acústica menos agressiva do que aquela originalmente medida. E assim podemos recuperar o ganho acústico suficiente.

Podemos dizer que queremos obter o máximo ganho possível antes da realimentação.

A curva elétrica da figura 12.15 é a chamada equalização da casa.

Várias são as técnicas utilizadas para se fazer a equalização da casa.

Elas dependem essencialmente do que prefere o engenheiro ou técnico encarregado da equalização, dos instrumentos de medida disponíveis, da curva acústica média medida ou esperada, das quantidades e tipos de equalizadores que compõem o sistema, e de fatores como o tempo disponível para o trabalho, além de outros.

Muitos sistemas não permanentes já são equipados com diferentes tipos de equalizadores, e desse modo, estão preparados para o que der e vier.

Os sistemas permanentes, por outro lado, são geralmente adquiridos em função de orçamentos, e de expectativas de resultados.

Por essa razão, nem sempre todos os equalizadores estão de pronto disponíveis. A maioria dos sistemas usualmente só possui equalizadores gráficos de 1/3 de oitava. E muitas vezes os paramétricos e outros tipos de filtros são indispensáveis.

As técnicas de equalização em si são discutidas no item 12.2.4.5, a seguir.

Uma vez equalizado o sistema, não se deve mais alterar os controles do equalizador. Com a exceção de eventuais retoques feitos por equipes para tanto credenciadas, e devidamente aparelhadas.

12.2.4.2 Formatação da Resposta Acústica Na maioria dos sistemas profissionais, uma vez concluída a equalização para obtenção do mais elevado ganho antes da realimentação possível,

é conveniente formatar a resposta acústica do sistema.

Infelizmente, prática nem sempre observada.

A principal razão disso é que se imagina que, obtida uma resposta relativamente plana, teremos chegado ao objetivo final. O que não é verdade.

A formatação da resposta acústica deve ser feita de acordo com a natureza do programa a ser reforçado.

Padrões internacionais, respeitados por praticamente todos os especialistas em áudio do mundo, podem nos servir como uma excelente plataforma de partida.

Esses padrões são os da figura 12.16. Neste ponto exato pode surgir uma dúvida.

E o que fazer para sistemas mistos, que ora são usados para reforçar vozes, e ora para reforçar música?

Há algumas maneiras de se lidar com isso.

Uma delas é trabalhar com um cluster só para voz, e dois para música. Geralmente o primeiro fica fisicamente localizado em posição bem central e acima do palco, e os dois para música dos lados direito e esquerdo.

Usa-se uma console de frente da casa com masters L e R, além de um mono.

E para cada uma dessas saídas da console se usa um canal de equalização. Com os filtros adicionais necessários.

Outra técnica é usar equalizadores digitalmente controlados, capazes de memorizar diferentes “sets” de equalização. Essa técnica também é uma resposta direta para sistemas mistos, que processam vários programas diferentes, como sugere a figura 12.16.

Mas todas essas soluções passam pela arquitetura de sistema.

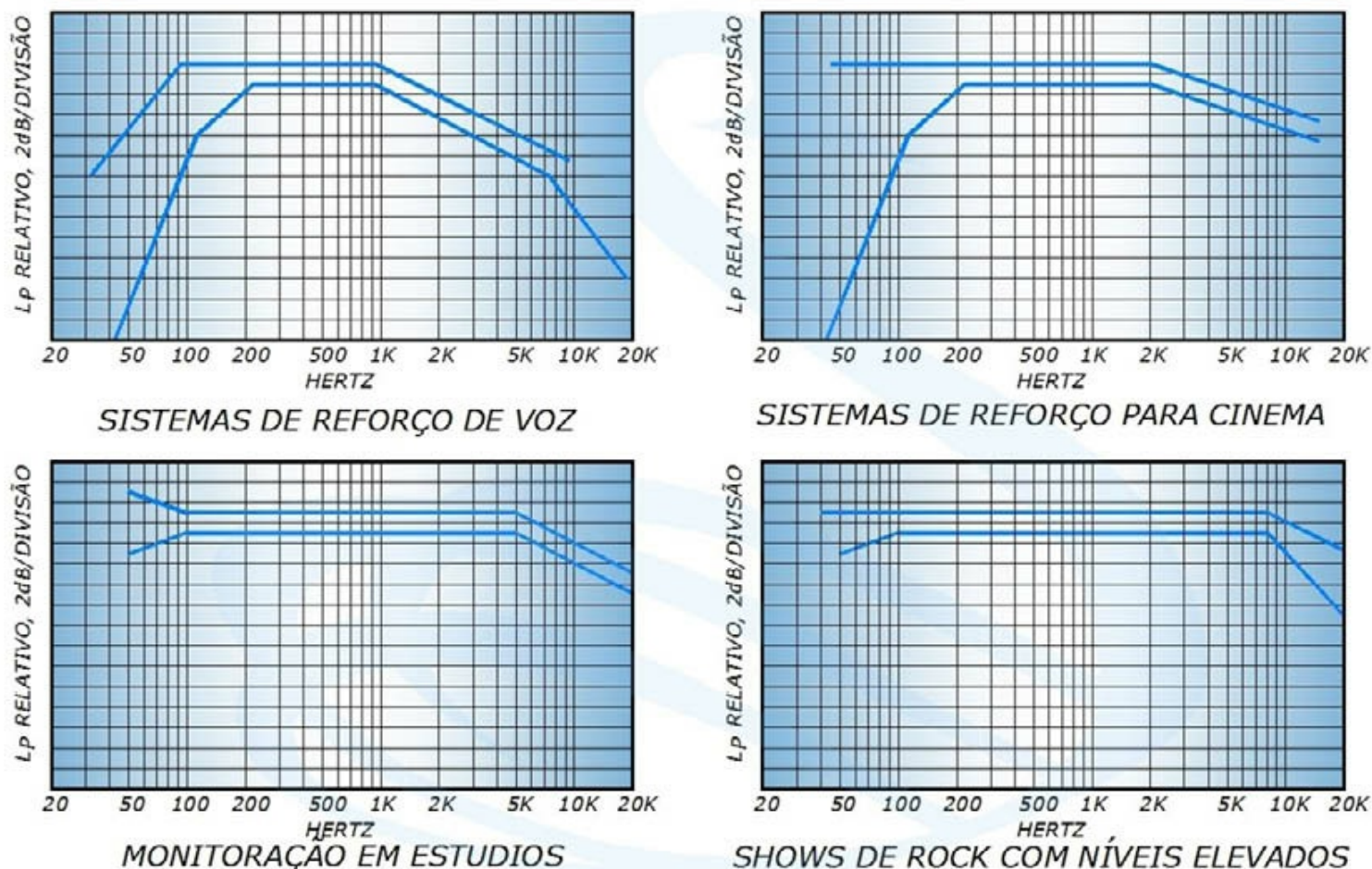


figura 12.16 padrões de formatação da resposta acústica de acordo com a natureza do programa acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como no caso anterior, uma vez obtidas as formatações das respostas acústicas, não é mais prudente alterá-las.

12.2.4.3 Equalização de Programa A equalização de programa é uma forma utilizada para corrigir eletronicamente uma fonte cuja resposta se julga deficiente.

Também é uma técnica para melhorar as características sônicas de uma voz humana que foge do normal. Por exemplo, timbres muito anasalados, ou muito esganiçados, ou sibilantes, e assim por diante.

A equalização de programa também pode ser utilizada para conferir valor sônico aos instrumentos musicais.

Fora o conteúdo bem mais subjetivo da equalização de programa em relação às demais equalizações, a principal diferença entre elas é que, ao contrário das demais equalizações, que devem permanecer fixas, a equalização de programa pode ser alterada a qualquer momento durante eventos.

E essas alterações são feitas sempre e exclusivamente nos equalizadores da console, e nunca nos equalizadores usados para a equalização da casa e nos filtros de formatação da resposta acústica.

12.2.4.4 Dificuldades a Superar Antes de discutir cada uma das técnicas de equalização, é

prudente que tenhamos uma ideia geral de alguns aspectos pouco discutidos, mas que fazem parte integrante do tema.

revisão dos motivos da microfonia Voltemos nossas atenções para a figura 12.17.



figura 12.17 o elo da realimentação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O microfone capta a voz da pessoa que o utiliza. O som é reforçado pelo sistema e reproduzido pelo falante.

E chega ao microfone.

Essa primeira realimentação é processada pelo sistema. Assim, o som reforçado conterà inicialmente uma primeira realimentação.

O novo sinal reforçado também chega ao microfone. E agora temos uma segunda realimentação.

O processo é repetitivo e em alguns segundos teremos centenas de realimentações. Até que seja atingido um ponto de equilíbrio.

Digamos que a pessoa que usa o microfone gera a pressão sonora p_1 sobre ele. Se chamarmos de μ o ganho próprio do sistema, mais a contribuição dada pelo falante, a saída do sistema será $p_2 = \mu p_1$. Uma parte dessa saída (βp_2) realimentará o microfone, dando origem a nova saída, que realimentará o microfone, dando origem a outra saída ainda, e assim sucessivamente. Até que o ponto de equilíbrio já mencionado seja atingido.

Chamemos então de P_1 a entrada acústica para o microfone na condição de regime, e de P_2 a saída do sistema, também para a condição de regime. P_2 é o resultado da pressão sonora P_1 sobre o microfone, gerada pela fonte em situação de regime, e também, da pressão de realimentação em regime, βP_2 .

$$P_2 = \mu (P_1 + \beta P_2) \quad (12.6)$$

O ganho efetivo do sistema, μ' , é definido como sendo a relação entre a saída final do sistema em regime, P_2 , e a entrada original P_1 . Ou seja:

$$\mu' = \frac{\mu}{1 - \mu\beta} \quad (12.7)$$

Sabem o que é esta expressão 12.7? A que em 1.932 Nyquist já propunha para descrever o ganho de um sistema sujeito à realimentação em condição de regime.

A condição de equilíbrio desta equação é que a amplitude $|\mu\beta|$ do elo de ganho não ultrapasse a unidade. O que se aplica quando os deslocamentos de fase são zero ou múltiplos de 2π radianos. É possível ultrapassar a unidade para deslocamentos de fase diferentes de zero, ou $2\pi N$ radianos, sendo N qualquer número inteiro.

Vamos entender o fenômeno que precede a microfonia, denominado ringing, e já discutido no item 6.4.3.3, olhando para a expressão 12.7. Quando a amplitude $|\mu\beta|$ começa a se aproximar da unidade, μ' começa a tender ao infinito. E essa é a razão do ringing, e também porque precisamos da FSM.

Mas temos um novo elemento a analisar. Vemos que a condição de equilíbrio depende não apenas das amplitudes, mas também de fases. E que, por via de consequências, o controle da estabilidade de um sistema de reforço de som depende, pelo menos, desses dois parâmetros.

O que já nos deveria parecer óbvio. Porque?

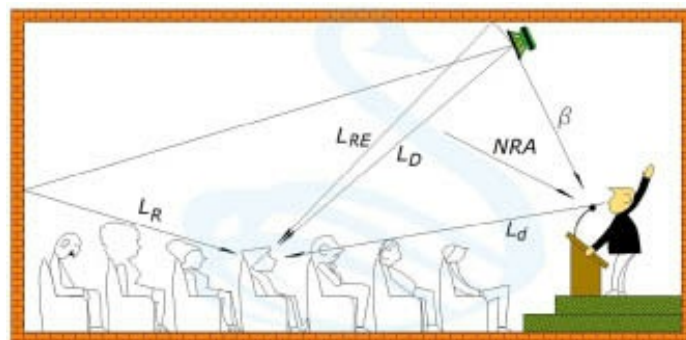


figura 12.18 os campos envolvidos no processo da realimentação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É simples. Relacione esta situação com o que lhe acontece na prática.

Porque será que a microfonia ocorre somente com algumas frequências bem definidas e não com todo o espectro, como num ruído rosa? Tente procurar uma resposta plausível antes de continuar a leitura.

Claro, a solução da charada está na fase acústica dos sinais. Sabemos que as ondas acústicas possuem uma dimensão física, determinada pela velocidade de propagação do som e

pela frequência, que é o comprimento de onda.

Quando alguém fala e produz pressão sonora sobre o microfone de sorte que o diafragma é comprimido (ou rarefeito), a microfonia só acontece se a parcela que deixa o falante e atinge o microfone também comprime (ou rarefaça) o diafragma. O que aumenta seu deslocamento.

Quando a pressão original e a de realimentação estão em fase no diafragma do microfone, temos a condição de deslocamento de fase zero. Também é fácil perceber que quando os deslocamentos de fase não são zero, as condições de realimentação são mais amenas, e a propensão para a microfonia mais remota. O quanto mais remota depende exatamente de quanto é o deslocamento de fase. Para alguns deslocamentos de fase a microfonia será quase que impossível, mesmo que a pressão de realimentação seja muito elevada.

Que controle temos sobre os deslocamentos de fase? Nenhum. Porque os deslocamentos dos quais estamos falando só dependem da distância entre cada microfone aberto e os falantes, e de que frequências de realimentação atingem o microfone.

Que são praticamente todas as do espectro de áudio.

Por isso, e considerando que os sistemas de áudio de fato trabalham com um amplo espectro de frequências, devemos nos assegurar que a amplitude $|\mu\beta|$ não ultrapasse a unidade.

Quando sabemos de antemão que esta amplitude vai ser maior do que a unidade, precisamos controlá-la. O controle é exercido na etapa do dimensionamento eletroacústico.

Vimos antes que o ponto teórico exato em que ocorre a microfonia é chamado de ganho unitário. Isto porque a amplitude $|\mu\beta|$ se iguala a unidade. O que significa que ganho unitário é apenas uma forma de dizer que a intensidade do material realimentado, como “ouvida” pelo microfone, passa a ser igual à intensidade do próprio material produzido pelo orador ou artista, também como “ouvida” pelo microfone.

A figura 12.18 mostra que existem vários campos de som simultaneamente presentes na maioria dos processos de realimentação. Uma análise mais detalhada das informações contidas nessa figura, e de como os campos envolvidos podem interagir, poderá ser grande valia para compreendermos melhor a profundidade do fenômeno.

a ferramenta equalizador Trabalhar com equalizadores gráficos sem conhecer bem o aparelho com o qual se lida pode ser muito problemático. Bem mais do que a maioria dos engenheiros e técnicos de áudio supõem.

O que não é de estranhar, porque as pessoas são induzidas a pensar dessa forma. Especialmente em razão das informações divulgadas por muitos fabricantes de equalizadores, que querem fazer crer que a resposta elétrica de seus produtos corresponde exatamente ao que as posições relativas dos controles frontais sugerem.

Sabemos que isso não é verdade. E para os que os que ainda insistem em acreditar nessa

assertiva falsa, ou para os que não sabem bem porque ela é falsa, recomendo uma revisão da parte de equalizadores, discutida no capítulo 4.

reforçar ou atenuar?

Há um outro aspecto que talvez seja um dos mais obscuros entre todos os que se referem diretamente a equalização. Por isso mesmo gostaria de esclarecê-lo.

Mestre Richard Heiser já dizia que, num ambiente fechado, a soma de dois sons não relacionados entre si jamais chega a superar a casa de 3,0 dB. Mas nesse mesmo ambiente, esses mesmos sinais podem atingir quaisquer graus de cancelamento. Podendo inclusive chegar literalmente a se anular mutuamente.

E a isso, Donald Davis acrescenta que, não sendo ativa, uma sala não pode acrescentar energia, mas apenas removê-la.

O que esses experts querem dizer é que a mãe natureza se incumba de fazer seus próprios ajustes de campos de som num ambiente fechado. Mas apenas removendo energia, sem jamais criá-la.

A lição que podemos tirar disso é que, quando a largura da banda de um filtro não combina exatamente com a formatação das ondas estacionárias de um ambiente fechado, até podem haver certos inconvenientes em usá-lo para atenuar sinais. Mas quando o filtro é usado para reforçar sinais, numa tentativa de caminhar contra a natureza, as dificuldades podem ser enormes.

Desse modo, opte sempre por atenuar sinais no equalizador, e não por reforçá-los.

O mais irônico disso é que na maioria dos casos em que os filtros são usados para reforçar sinais, geralmente seria muito mais simples e eficaz usar os demais filtros para atenuar os demais segmentos do espectro.

o quanto atenuar ou reforçar?

A experiência mostra que reforçar sinais em mais do que 2,0 ou 3,0 dB é prática de todo não saudável. Fuja disso o quanto puder.

E atenuar sinais em mais do que 3,0 dB também não é uma técnica muito refinada. Gostaria de insistir mais um pouco com a natureza combinatória dos filtros dos equalizadores. Meu objetivo é deixar isso o mais claro possível.

Atenção para a figura 12.19.

As duas curvas foram obtidas com um equalizador Altec 9014A. Uma das curvas é o resultado do filtro centrado em 1.000 Hz atenuando 6,0 dB. A outra é obtida com os filtros centrados em 800, 1.000 e 1.250 Hz, todos ajustados para atenuação de 2,0 dB. Observe como nesta última os 3 filtros se combinam para produzir uma atenuação de 6,0 dB no centro combinado dos 3 filtros.

Tudo isso deve dar ao leitor uma boa ideia da complexidade se levar a cabo um bom trabalho de equalização, da seriedade com que é preciso encará-lo, e de como e quantas são as armadilhas preparadas ao longo do caminho do engenheiro de áudio nesta fase do alinhamento.

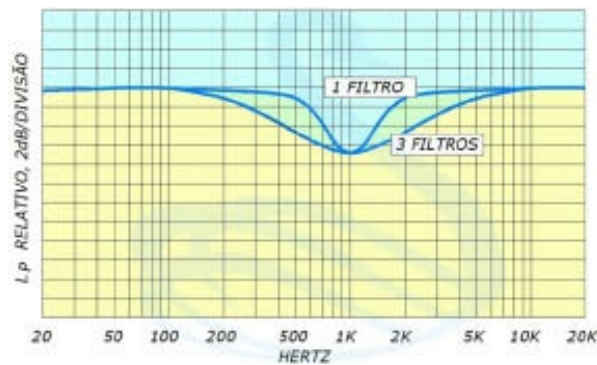


figura 12.19 duas curvas obtidas com um equalizador Altec 9014A A filtro centrado em 1.000 Hz, ajustado para atenuação de 6,0 dB

B 3 filtros centrados em 800, 1.000 e 1.250 Hz, todos ajustados para atenuação de 2,0 dB
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Resta dizer que saber usar com maestria o instrumental de aferição envolvido nos processos de equalização é um dos fortes elementos com que podemos contar.

Os outros são a experiência e os conhecimentos que ela traz a reboque.

12.2.4.5 Técnicas de equalização técnica nº 1 - resposta regenerativa em tempo real Esta técnica, que representa o pioneirismo em matéria de equalização de sistemas profissionais de áudio, só pôde ser desenvolvida a partir do excelente trabalho feito por William Snow nos anos 50.

Dirigindo-se diretamente à comunidade do áudio, Snow demonstrou com incrível contundência que quando um sistema de reforço deixa de operar bem abaixo do ponto de microfonia, e passa a operar em suas proximidades, sua resposta acústica sofre profundas alterações.

Essas alterações ocorrem porque quando uma frequência qualquer se aproxima do ponto de realimentação, os aumentos de sua amplitude não guardam mais correspondência com o ganho elétrico imprimido ao sistema.

Snow também demonstrou que quando uma frequência se aproxima do ponto de realimentação, a taxa de queda de sua energia, sendo a contagem feita a partir do momento que a fonte que a produz é interrompida, é tipicamente cinco vezes mais longa do que a quando a mesma frequência está bem abaixo do ponto de realimentação.

Snow ponderou que se fosse possível identificar essas frequências, seria relativamente simples controlá-las. E para identificá-las seria preciso apenas identificar as diferenças entre elas e as demais frequências.

Esse é o alicerce da técnica resposta regenerativa em tempo real.

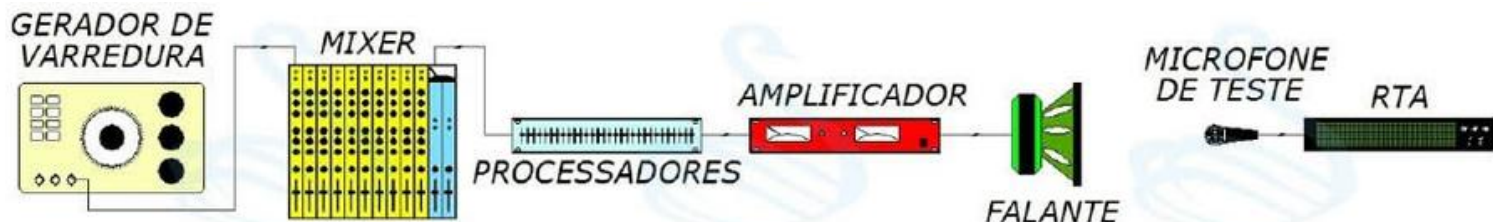


figura 12.20 arquitetura de sistema para equalização com a técnica resposta regenerativa em tempo real acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 12.20 mostra a arquitetura básica de sistema utilizado na equalização de um sistema profissional de sonorização, com aplicação da técnica resposta regenerativa em tempo real.

A possível melhor posição para o microfone de teste do RTA é num local central da plateia, de preferência no prolongamento do eixo principal de qualquer dos clusters.

Ajusta-se o ganho do sistema para que a resposta acústica fique bem próxima do ponto de realimentação.

O oscilador de varredura é um tipo especial de gerador de áudio. Ele pode ser ajustado para gerar frequências em ordem ascendente ou descendente, ao que se chama de varredura. A velocidade da varredura também é ajustável. Ou seja, podemos ajustar o tempo que o instrumento leva para reproduzir uma determinada banda de frequências, subindo ou descendo.

No caso da figura 12.20, o oscilador é ajustado para iniciar a varredura em 20 Hz, e terminá-la em 20 kHz. Com velocidade de varredura ajustada para 10 kHz/segundo, o espectro é varrido em cerca de 2 segundos.

Enquanto o oscilador de varredura faz seu trabalho, o microfone de teste do RTA colhe amostras do sinal já reforçado e o mostra no displêi do instrumento.

A varredura do oscilador fará com que o displêi do RTA mostre as frequências subindo da esquerda para a direita. Essas mesmas frequências cairão de acordo com a velocidade de integração do RTA, tipicamente 100 milissegundos.

Entretanto, quaisquer frequências muito próximas do ponto de realimentação, certamente já na região do fenômeno ringing, cairão bem mais lentamente do que as demais. O que nos permite identificá-las com muita facilidade.

Alguns osciladores de varredura podem ser comutados para trabalhar nos modos varredura logarítmica ou linear. O modo logarítmico é adequado para a análise das baixas frequências, enquanto o modo linear é mais recomendável para as médias, e especialmente, para as altas frequências.

Nessa técnica, não identificamos só as frequências problemáticas, mas também o grau do problema que cada uma representa, uma vez que eles estão diretamente relacionados com o tempo de queda. E essa é uma informação obtida no RTA.

E assim, devemos pensar em neutralizar inicialmente a frequência mais problemática. A seguir, a segunda mais problemática, depois a terceira e assim por diante.

Uma vez escolhida a frequência com que vamos trabalhar, a neutralização consiste

essencialmente em atenuá-la eletricamente no equalizador. Caso a frequência problemática não coincida exatamente com as frequências centrais dos filtros do equalizador que dispomos, trabalhamos com os dois filtros adjacentes que ladeiam a frequência problemática.

Mas nesse ponto, quero fazer duas ressalvas.

Uma, que esse expediente é exatamente o que caracteriza um dos grandes problemas na aplicação dos equalizadores gráficos. Outra, que é bem nessas situações que devemos nos lembrar dos efeitos da natureza combinatória dos filtros dos equalizadores.

Recomendo que os passos de atenuação utilizados em cada tentativa para reduzir os efeitos das frequências problemáticas sejam de, no máximo, 0,5 dB. E ao final de cada tentativa, reiniciemos a varredura com o oscilador para verificar os resultados assim produzidos.

Na grande maioria dos casos, atenuações entre 1,0 e 3,0 dB são suficientes para controlar o problema, e evitar a microfonia.

O mesmo processo é repetido para cada frequência problemática identificada.

Após termos trabalhado com quatro ou cinco frequências, é conveniente que ouçamos o sistema reproduzindo voz, e que comparemos esse resultado com aquele produzido pelo sistema antes dos ajustes.

Em condições normais, quatro ou cinco ajustes já serão suficientes para que tenhamos uma reprodução com mais qualidade. E também, para que possamos operar o sistema com maior ganho antes da realimentação.

Uma vez que tenhamos trabalhado com todas as frequências problemáticas, os resultados sônicos e o aumento de ganho deverão ser absolutamente evidentes.

Entretanto, podemos repetir o processo de trabalhar sobre todo o espectro várias vezes. E a cada nova repetição veremos que os incrementos de melhora dos resultados tenderão a ser progressivamente menores. Até o ponto em que não poderemos mais obter nenhuma melhora adicional. Este é o momento em que podemos dar nosso trabalho de equalização por concluído.

Esta técnica, muito eficaz, é acessível mesmo para quem não dispõe de um oscilador de varredura. Se bem que com algumas desvantagens, aquele instrumento pode ser substituído por um oscilador de áudio convencional, no qual a varredura é obtida manualmente.

Muitos especialistas julgam conveniente que toda a equalização seja refeita algumas vezes, cada uma com o microfone do RTA localizado num ponto diferente da plateia. Nesse caso, os ajustes de cada equalização devem ser anotados para que, posteriormente, e se necessário, possa ser feito um ajuste pela média.

técnica nº 2 - sintonia de realimentação A figura 12.21 mostra de maneira muito simplifica o arranjo utilizado para equalizar um sistema com a técnica de sintonia de realimentação. Nota-se que o gerador de varredura não é mais empregado. E agora, além

do microfone de teste do RTA, há um outro, ligado na entrada do sistema a ser equalizado.

O microfone do RTA deve ser localizado como na técnica resposta regenerativa em tempo real. O microfone ligado na entrada do sistema, que é aquele que vai provocar a realimentação, deve ficar em sua posição normal de uso, geralmente o palco.

Em casos de auditórios, quando são utilizados microfones sem fio para que pessoas da plateia possam fazer perguntas, é sempre conveniente fazer a equalização com o microfone em sua posição em palco, e posteriormente, conferir toda a equalização com o microfone sem fio em várias posições da plateia.

Iniciamos o processo aumentando cuidadosamente o ganho do sistema, até que se possa ouvir o ringing, ou o início de microfonia. O que provavelmente ocorrerá para uma só frequência. Nesse ponto, enquanto observamos o displêi do RTA, reduzimos ligeiramente o ganho, apenas o suficiente para que o sistema adquira estabilização. E assim, teremos identificado a primeira frequência problemática.

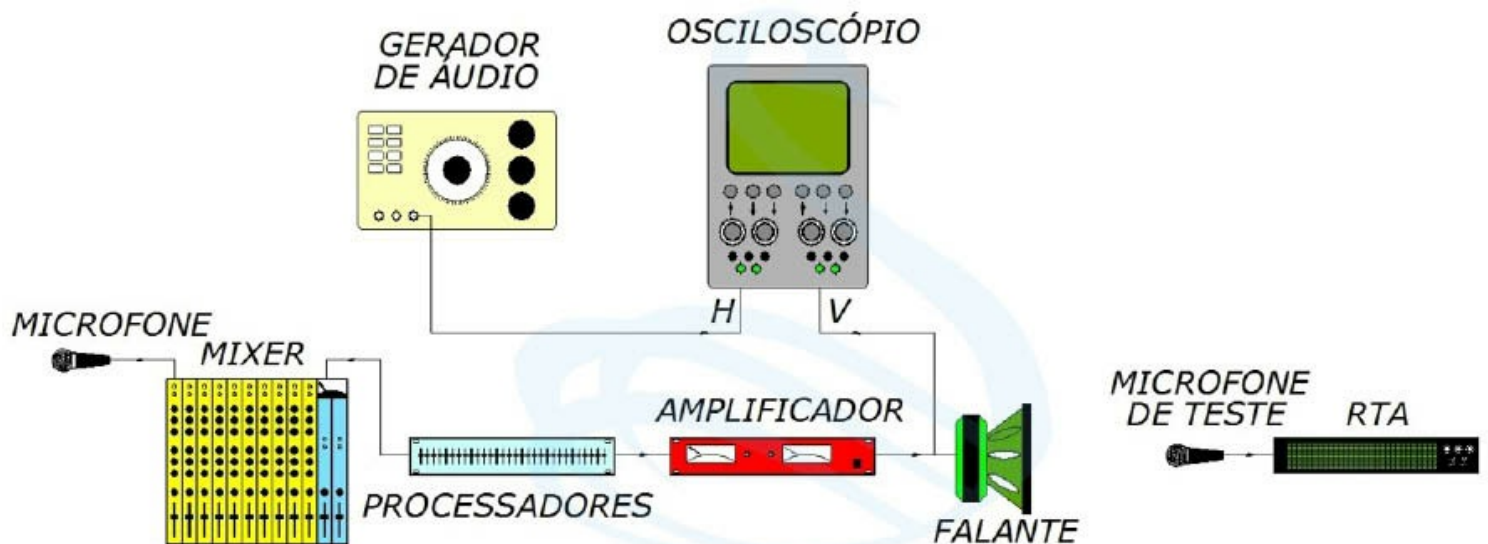


figura 12.21 arquitetura de sistema para equalização com a técnica sintonia de realimentação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para neutralizar seus efeitos, procedemos exatamente como no caso da técnica resposta regenerativa em tempo real.

Então, tornamos a aumentar o ganho do sistema para ver se o problema foi neutralizado ou se ainda continua.

Se continuar, reduzimos um pouquinho o ganho e aumentamos mais um passo a atenuação no equalizador. Aumentamos novamente o ganho para verificar a presença ou ausência do problema, e assim prosseguimos até que ele tenha sido neutralizado.

Seguindo esse mesmo procedimento, vamos trabalhando, uma após outra, todas as frequências problemáticas, até que tenhamos obtido a equalização.

Muita gente me pergunta como é possível haver microfonia quando não há ninguém falando ao microfone. Nessas circunstâncias, a microfonia pode ocorrer por causas diversas. Por exemplo, por diafonia nos circuitos de áudio do sistema.

Se voltarmos novamente nossas atenções para a figura 12.18, podemos rever os campos

envolvidos no processo de realimentação acústica.

Suponha que tenhamos ligado o sistema e aberto um microfone. Nesse momento ninguém o está utilizando. Mesmo assim, o ambiente estará produzindo seu próprio ruído. A campo identificado como NRA na figura. E naturalmente, o microfone aberto estará captando esse campo.

Uma vez captados pelo microfone, os sinais serão encaminhados para o sistema, que os processará. E já amplificados, eles serão convertidos em som pelos falantes. Em razão disso, os demais campos indicados na figura se farão presentes. Inclusive a parcela β de realimentação. E aí caímos na mecânica de realimentações sucessivas.

Com o aumento do ganho do sistema, aumenta também o campo acústico resultante da reprodução dos sinais pelos falantes. E todos os campos de som disso decorrentes.

No momento em que, na posição do microfone aberto, o campo se torna mais elevado do que o NRA original, temos a microfonia. Geralmente ela se manifesta inicialmente com uma só frequência. Aquela que se mostra mais elevada do que as demais no displêi do RTA.

técnica nº 3 - sintonia com uso de ruído rosa Embora a técnica de sintonia com uso de ruído rosa não seja tão eficiente quanto as discutidas anteriormente, provavelmente seja a mais utilizada entre todas.

O que se justifica, porque para utilizá-la o sistema deve ser arranjado como se fazia na ocasião do lançamento dos equalizadores de 1/3 de oitava e dos RTA de 1/3 de oitava. Esse arranjo é semelhante ao esquematizado na figura 12.22.

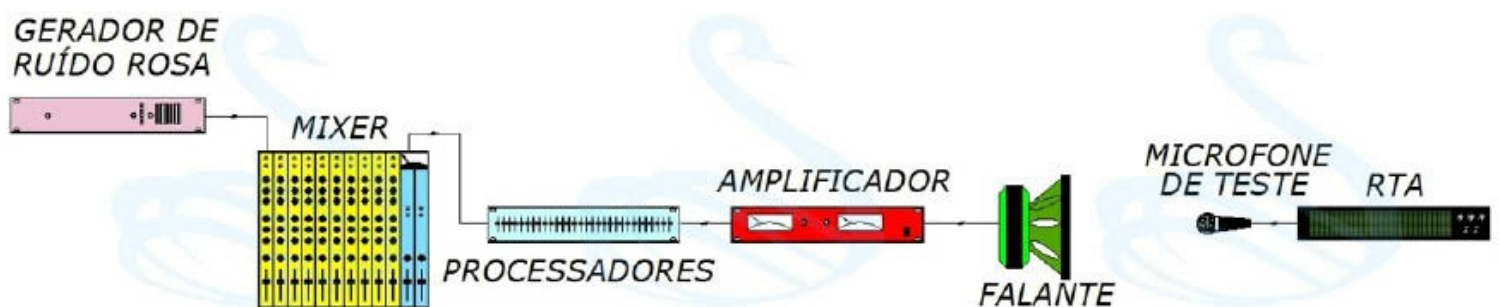


figura 12.22 arquitetura de sistema para equalização com a técnica sintonia com ruído rosa acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vemos que o sistema é alimentado pelo gerador de ruído rosa (GRR).

Como nos casos anteriores, a possível melhor posição para o microfone de teste do RTA é num local central da plateia, ainda no prolongamento do eixo principal de qualquer dos clusters.

Então, o ganho do sistema é gradativamente aumentado até que a resposta acústica fique bem próxima do ponto de realimentação. Saberemos que esse ponto está próximo pela presença do ringing.

Nesse momento, se olharmos para o displêi do RTA, veremos a representação fiel da resposta acústica do sistema de som, inclusive interação da sala.

Com isso teremos identificado os níveis relativos de energia de todas as frequências do espectro reproduzido.

Escolhemos a frequência com nível mais elevado, e procuramos neutralizá-la via atenuação no equalizador, como para as técnicas anteriores.

Cada vez que alterarmos o controle de um filtro no equalizador, vemos imediatamente o resultado no displêi do RTA. E assim, evoluímos de uma para outra frequência problemática.

Uma vez que tenhamos ajustado de três a cinco frequências, é conveniente ouvir o sistema reproduzindo voz. E deveremos sentir a melhora, tanto sonicamente quanto no que se refere ao ganho antes da realimentação.

E devemos prosseguir até que praticamente não possamos introduzir quaisquer melhoras.

técnica nº 4 - análise TEF da resposta acústica Do ponto de vista de equalização, todos os campos de som envolvidos no processo da realimentação acústica, como ilustra a figura 12.18, são importantes. Analisados em conjunto ou separadamente.

Entretanto, quando trabalhamos com quaisquer das técnicas anteriores, o RTA estará nos mostrando sempre a soma de todos os campos de som. Isto é, o campo total.

Mas se ao invés de um RTA utilizarmos um analisador TEF, então poderemos ver isoladamente cada um dos campos componentes do campo total.

Isso significa que podemos analisar separadamente cada campo componente, e inclusive saber quais são as respectivas contribuições individuais para a formação do campo total.

Mas além disso, podemos saber as minúcias de cada campo componente. Por exemplo, podemos saber com muita precisão quais são as direções e tempos associados a cada uma das reflexões do campo reverberante (L_R).

Essa análise é extremamente poderosa, pois nos possibilita interpretar com acuidade a essência da natureza de cada um dos problemas que, enquanto parte indissociável do campo total, se apresenta de modo totalmente velado e inacessível.

Inicialmente, podemos saber quais são os problemas que têm origem no campo direto, quais são os que resultam de reflexões primárias, e quais resultam de outras reflexões. E que portanto, pertencem ao campo reverberante.

A partir dessas informações podemos estabelecer diagnósticos muito precisos, e aplicar remédios de forma específica e muito eficaz.

Por exemplo, separando os problemas exclusivamente devidos ao campo direto, podemos saber que as causas são o processo de transdução e as perdas com a distância, que estarão se manifestando de forma diferente ao longo do espectro. E poderemos equalizar apenas para que esses efeitos indesejáveis sejam neutralizados.

Quando são detectados problemas resultantes de reflexões primárias, nem é preciso tentar

quaisquer medidas corretivas com equalização. Ao invés disso, o melhor é procurar soluções dadas localmente. Por exemplo, bloqueando reflexões detrimenais.

Os problemas devidos ao campo reverberante são aqueles que podemos debitar exclusivamente aos padrões de formação de ondas estacionárias e de reflexões do ambiente. Uma vez analisados isoladamente, podemos tratá-los de maneira adequada e direta.

Desse modo, teremos muito mais controle do que podemos fazer, sabendo sempre porque caminhos seguir. De maneira consciente.

Podemos dizer que uma das propriedades natas dos analisadores TEF é mostrar claramente problemas usualmente muito camuflados.

Como consequência disso, sistemas equalizados com o auxílio dos analisadores TEF exigem sistematicamente muito menos equalização do que se equalizados sem essa assistência providencial.

12.2.4.6 Dicas

como manobrar os equalizadores Durante a equalização, os controles dos equalizadores devem ser movidos necessariamente com muita calma e vagar. Sem quaisquer movimentos bruscos.

Para cada pequeno ajuste feito é preciso avaliar muito bem o efeito sônico resultante. Postura que devemos manter até o final do processo de equalização.

Frequentemente, durante este processo, independentemente de que técnicas estão sendo utilizadas, surge o sintoma de que os resultados estão piorando ao invés de melhorar. Como disse antes, a equalização não é a cura para tudo. Nessa hora o engenheiro e o técnico devem parar para pensar, levando em conta todos os aspectos que apontei anteriormente, diante dos quais a equalização simplesmente não pode ajudar.

Se um analisador TEF não está disponível, devemos pensar nas possibilidades dos problemas exigirem outros remédios que não a equalização. E tentar resolvê-los antes de prosseguir.

Dessa maneira, podemos entender que nem sempre manobrar os equalizadores significa alterar seus controles. Muitas vezes é preciso dar um passo atrás, remover obstáculos, e então voltar aos controles desses processadores.

quando parar

Vimos anteriormente que a hora de parar com os ajustes de equalização é quando não conseguimos obter melhoras adicionais. O que é verdade.

Entretanto, se o ganho antes da realimentação projetado ainda não foi atingido, podemos parar com a equalização, mas teremos que retomá-la em outro momento.

E durante essa pausa, devemos fazer as mesmas pesquisas a que me referi anteriormente, e remover os obstáculos que forem identificados.

Isso feito, retomamos a equalização, e provavelmente veremos que agora poderemos introduzir melhoras adicionais notáveis.

Outro aspecto que nos servirá como referência para sabermos onde está o fim dos ajustes de equalização são os resultados sônicos. Certamente não teremos chegado ao fim quando ainda não tivermos resultados sônicos ao menos satisfatórios. Particularmente quando lidamos com sistemas bem projetados e bem instalados.

o efeito dos painéis de ação diafragmática Geralmente os painéis de ação diafragmática são intencionalmente projetados para absorver uma determinada gama de frequências, com coeficientes médios de absorção pré determinados.

Entretanto, muitas vezes ocorre que estruturas simples, e mesmo painéis quaisquer, construídos sem preocupações com a acústica, acabam se comportando como painéis de ação diafragmática.

Muitas dessas estruturas acabam agindo como excelentes absorventes acústicos, trabalhando em bandas relativamente estreitas de frequências. Que muitas vezes comprometem o trabalho de equalização. De fato, vez por outra nos deparamos com displêis de RTA que mostram vales profundos na resposta acústica, como na figura 12.23.



figura 12.23 vale na resposta acústica, como informado no displêi de um RTA acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Assim, esses vales podem ocorrer em razão da ação diafragmática não intencional de estruturas e painéis quaisquer, eventualmente instalados só por questões decorativas.

Se sentirmos muita dificuldade para neutralizar tais efeitos com a equalização, não devemos insistir com ela. Esse quadro é o sintoma clássico da existência de ação diafragmática pronunciada e não intencional. Portanto, a solução não é equalizar, mas corrigir o problema na origem.

Para começar, temos que identificar a estrutura ou estruturas causando o problema.

Ponha seu instinto e perspicácia para funcionar. Lembre-se que a ação diafragmática só pode existir se alguma estrutura ou painel estiver vibrando.

Logo, não é preciso procurar por ações diafragmáticas em paredes de alvenaria, superfícies de concreto ou de blocos, nem nada muito rígido. O problema se manifestará nos painéis de madeira ou de plástico, nas lâminas metálicas ou de vidro, em portas e janelas, nos forros e pisos falsos, e em superfícies semelhantes. Ou ainda, numa combinação dessas possibilidades.

A maneira mais fácil de localizar o problema é gerar a banda de frequências que está sendo absorvida, e amplificá-la pelo sistema de som. E então, procurar a superfície problemática, que estará vibrando na mesma frequência.

Geralmente as soluções são incrivelmente simples. Obtidas assim que impedimos que a superfície vibre. O que pode ser facilmente conseguido através de seu travamento mecânico.

Resolvido o problema, voltamos para a equalização.

problemas mecânicos

Há uma série de problemas mecânicos que alteram a resposta acústica do sistema. Ao invés de tentar controlar os efeitos desses problemas com equalização, devemos resolvê-los atacando suas causas.

Essa série de problemas pode ser classificada como segue • desalinhamento de falantes • fonte única dividida • reflexão em superfícies nas proximidades dos clusters • rerradiação de superfícies • realimentação mecânica sobre o microfone O desalinhamento temporal dos falantes, tratado no item 12.3.2, caracteriza um desses problemas que não devemos equalizar, já que a solução definitiva é o alinhamento mecânico. Hoje em dia isso é muito fácil com o advento dos analisadores TEF.

Quanto ao desalinhamento temporal dos falantes, devemos nos preocupar com os sistemas de falantes multivias. Como os que incluem unidades operando em diferentes espectros de frequências.

Com efeito, documentação abundante não deixa quaisquer dúvidas. Quando esses sistemas não estão devidamente ajustados, especialmente quanto ao alinhamento temporal, podem produzir lóbulos capazes de reduzir em até 12 dB o ganho do sistema eletroacústico antes da microfonia.

Atentem para o quanto poderemos estar perdendo de ganho antes da realimentação apenas por uma aparente questiúncula geralmente desprezada. Divisores de frequência passivos menos elaborados também produzem resultados semelhantes, mas geralmente de menores proporções.

Os clusters divididos, discutidos no capítulo 6, provocam o efeito filtragem pente, ilustrado na figura 6.27. Vimos inclusive que a severidade desse efeito depende da posição do ouvinte em relação ao eixo de simetria da sala. O que evidencia a impossibilidade prática de usar a equalização como solução.

Um dos problemas mecânicos mais comuns nos sistemas de áudio decorrem do posicionamento dos clusters em relação a superfícies sólidas em suas proximidades. Dependendo das distâncias envolvidas, das características das superfícies, e das características dos clusters, o efeito torna-se equivalente à falta de alinhamento temporal dos falantes. Fixações inadequadas de clusters, que podem colocar outras superfícies em vibração, constituem verdadeiros sistemas isolados de irradiação secundária por efeito diafragmático.

Devido às características direcionais dos clusters, muitas vezes são provocadas reflexões em superfícies muito próximas dos falantes, que geralmente resultam de lóbulos de radiação laterais ou traseiros dos falantes, e não de suas radiações frontais.

Os efeitos disso são equivalentes a sérios desalinhamentos temporais de falantes multivias.

As realimentações acústicas que vimos anteriormente são a principal causa da microfonia. Mas isso também pode ocorrer por realimentação mecânica, como por exemplo quando o microfone fica sujeito a vibrações trazidas de estruturas solidárias como aquelas que suportam os clusters.

Também é evidente que a equalização não é solução para essas mazelas.

Dessa forma, antes de pensarmos em equalização, é preciso ter certeza que o sistema a ser equalizado está livre desses problemas mecânicos, e de que os falantes estão devidamente sincronizados e alinhados para que não produzam efeitos detrimenais e/ou aumentos desmedidos do elemento β do produto $\mu\beta$.

diafonia

Já que a microfonia se deve a um sinal acústico de realimentação sobre o microfone igual ou maior do que o próprio sinal original gerado pelo orador ou artista, é evidente que a microfonia só pode existir quando há ao menos um microfone aberto no sistema. Certo? Não. Errado.

Imagine o seguinte cenário. Todos os microfones de um sistema sequer estão plugados. O ganho do sistema é gradativamente aumentado, e de repente, sorrateiramente, começa o ringing. E logo depois a microfonia. Como isto é possível? Sim, você acertou. Por efeito de diafonia.

Se, por exemplo, os cabos dos microfones estão correndo juntos e paralelos a cabos portadores de sinais de altos níveis, estes podem induzir sinais naqueles. Por força de diafonia.

O que equivale a termos o microfone aberto e gerando sinais elétricos. Isso fará aumentar ainda mais os sinais nos cabos de alto nível e a própria diafonia sobre os cabos dos microfones. Numa sequência progressiva, semelhante à da realimentação acústica. Só que agora é uma realimentação elétrica. Alimentada pela diafonia, que é uma forma de IEM (Interferência Eletromagnética).

O resultado final pode ser a microfonia.

Observe que os efeitos da microfonia resultante da diafonia são absolutamente semelhantes aos efeitos da microfonia provocada por realimentação acústica.

Tentar resolver esse problema com equalização é o mesmo que tentar costurar com agulha sem linha.

Portanto, diante da menor dúvida, ou de dificuldades de obter a equalização, faça o teste de microfonia com os microfones desligados. Se a diafonia for a causa, combata-a. Uma vez superado o obstáculo, volte para a equalização.

12.2.4.7 Equalização Paramétrica Vimos anteriormente que, utilizando equalizadores gráficos de 1/3 de oitava, se a frequência problema não coincide exatamente com qualquer das frequências centrais dos filtros, utilizamos dois filtros contíguos, de forma que uma de suas frequências centrais fique acima da frequência problema, e outra, abaixo dela.

Ou alguém conhece algum desses equalizadores dotado de um único filtro rejeita bandas centrado em 900 Hz?

Se utilizar dois filtros contíguos pode ser uma solução, também não é de graça. O preço a pagar é a supressão de uma boa parte do programa que não tem nada a ver com o problema. Considere isso diante dos seguintes argumentos. Primeiro, a microfonia é o resultado da realimentação de uma única e bem definida frequência. E não de uma banda de frequências,

ainda que muito reduzida, como pensam alguns.

Segundo, os equalizadores de resposta de $1/3$ de oitava que discutimos até agora possuem filtros com frequências centrais espaçadas em $1/3$ de oitava. E o mais importante, a atuação típica de seus filtros (nos pontos -3.0 dB) é da ordem de 1 oitava. Ou mais. Portanto, atenuações de apenas 1,0 ou 2,0 dB afetam quase duas oitavas inteiras. Aliás, esta é uma das fortes razões pelas quais recomendo que não atenuar ou reforçar mais do que 3,0 dB.

Logo, atenuar uma ou algumas frequências problemáticas com equalizadores gráficos é uma espécie de faca de dois gumes.

Uma vez que as frequências centrais dos filtros dos equalizadores paramétricos podem ser deslocadas ao longo do espectro, é fácil fazer com que a frequência central de quaisquer de seus filtros coincida exatamente com a frequência problema. E se esses filtros tiverem seus “Q” ajustados para filtragem “notch”, tipicamente $1/10$ de oitava, o trabalho feito será muito mais limpo.

Muitos autores não recomendam o uso de filtros com bandas muito estreitas.

E a razão é que os filtros convencionais de banda estreita apresentam suas próprias constantes de tempo. Isto é, eles levam algum tempo para fazer seu trabalho. E como resultado, exibem eles próprios o efeito ringing, em forma de oscilação amortecida.

O que de fato é mais do que um simples inconveniente. Entretanto, os filtros digitais estão livres disso.

De qualquer forma, é quase consensual que equalizar com filtros mais estreitos do que $1/10$ de oitava não traz quaisquer melhoras em termos de aumento do ganho antes da realimentação, ou mesmo de inteligibilidade. Portanto, vamos considerar $1/10$ de oitava como a banda mais estreita que utilizaremos na prática, mesmo com equalizadores paramétricos.

Certamente é mais trabalhoso fazer a equalização com um aparelho paramétrico do que com um gráfico. Em compensação, os resultados obtidos são muito, mas muito superiores mesmo. As tecnologias TEF, MLS, FFT e outras, não só facilitam o trabalho com os paramétricos, mas possibilitam também formatações excepcionalmente precisas das respostas de frequência.

Reconheço que a maioria dos indivíduos que ainda não teve a oportunidade de lidar com um equalizador paramétrico geralmente se assusta com a ideia de fazê-lo pela primeira vez. Talvez por ter sido informado de que é algo extraordinariamente difícil.

Creio que as linhas a seguir podem desmontar de vez esse mito.

O método mais fácil de “sintonizar” os filtros do equalizador paramétrico é usando as técnicas nº 1 e nº 2 de equalização, tal como vimos há pouco. As frequências de microfonia são então identificadas. O que é coisa instantânea quando se dispõe de um analisador TEF ou

FFT, ou mesmo de um RTA de 1/6, 1/10 ou 1/12 de oitava.

Então, o primeiro filtro paramétrico é sintonizado para a frequência identificada. A seguir, aumenta-se a atenuação e o fator de mérito (Q) do filtro, de modo que ele se comporte como um filtro notch.

Aproximadamente como mostra a figura 12.24.

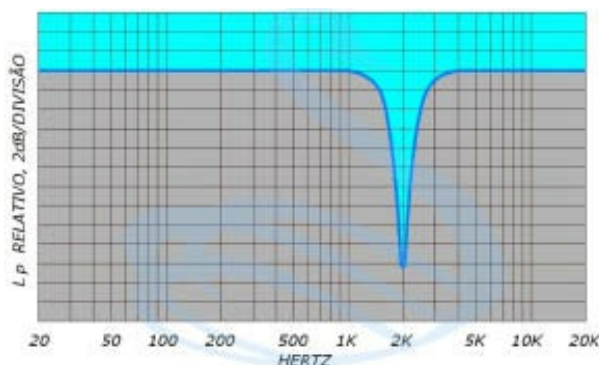


figura 12.24 resposta típica de um filtro notch acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Então, o ganho do sistema é novamente aumentado, até que novo ringing aconteça numa outra frequência. Repete-se o mesmo procedimento com o segundo filtro. E depois com o terceiro, quarto e, no máximo, com o quinto filtro.

O limite de cinco filtros deve-se ao fato de que, na maioria dos sistemas, depois do quarto filtro, e para alguns poucos sistemas, depois do quinto, a tendência é de ocorrência de ringing para diversas frequências simultaneamente. Isto é, estamos nas proximidades do máximo ganho possível antes da microfonia.

Ao final, deve-se repetir todo o procedimento de ajuste do paramétrico, com o objetivo de retocar os ajustes individuais dos parâmetros dos filtros. Isto é, frequência, atenuação e Q.

Importante observar que, como os filtros paramétricos “subtraem” muito menos programa útil do que os gráficos, seu uso implica na obtenção de ganho antes da microfonia bem mais elevado do que é possível com os filtros dos equalizadores gráficos de 1/3 de oitava. E ainda, os timbres resultantes parecem muito mais naturais.

O emprego de equalizadores paramétricos em combinação com os de 1/3 de oitava ampliam os recursos de combate contra a microfonia. E muitos engenheiros especializados concordam que essa é uma das melhores situações para quaisquer sistemas.

12.2.4.8 Equalização Paragráfica Vimos no capítulo 4 o que são equalizadores paragráficos. Portanto, equalizar com esses aparelhos é como se tivéssemos lidando com equalizadores gráficos, mas com os recursos dos equalizadores paramétricos. Portanto, seguimos as linhas gerais acima discutidas para equalização com aparelhos gráficos e paramétricos.

12.2.4.9 Formatação da Resposta de Acústica Obter as curvas da figura 12.16 é mais fácil quando trabalhamos com filtros fixos. Se queremos quedas nas baixas frequências, podemos utilizar filtros passa altas. Inversamente, para quedas das altas frequências, podemos utilizar

filtros passa baixas.

Eventualmente precisaremos de dois ou mais filtros de um mesmo tipo, cada um trabalhando com diferentes frequências de corte. Se combinados, esses filtros podem apresentar respostas elétricas com taxas de queda variáveis, bem como mostra a figura 12.16.

A formatação da resposta só pode ser feita uma vez que a equalização da casa tenha sido concluída.

Para realizá-la na prática, basta que façamos a inserção dos filtros na circuitação, como se faz com qualquer processador de sinais, e ajustar os filtros.

Esse ajuste se faz enquanto se observa o displêi do RTA, com o microfone de teste localizado exatamente como nas técnicas de equalização já discutidas.

12.2.5 Ajustes de Processadores A grande variedade de marcas e de modelos de processadores de sinal, e ainda, as inúmeras aplicações dadas atualmente a cada um deles, nos impedem de discutir detalhadamente todos os controles de cada um desses produtos. E principalmente, de como ajustá-los especificamente para cada um dos casos possíveis.

Portanto, nos limitaremos a discutir tópicos relacionados com os principais controles encontrados nos processadores mais utilizados em áudio profissional.

Assim, os itens 12.2.5.1 a 12.2.5.6, a seguir, não devem ser tomados como uma espécie de tabela de ajustes, mas tão somente como diretrizes gerais elaboradas para dar uma noção geral de como encarar esses ajustes.

Até mesmo porque não existe uma maneira de tabular valores de ajustes. Geralmente, todos os ajustes dos processadores dinâmicos dependem, além de tudo o que já vimos até aqui, do particular programa em curso pelo sistema.

12.2.5.1 Compressores Ao ajustar um compressor, devemos ter em mente que a razão principal de ser desse processador é reduzir a gama dinâmica dos sinais. E dessa forma, entre os serviços que ele pode prestar estão os seguintes: • incrementar a proteção de falantes e amplificadores, prevenindo distorções por clipamento • aumentar os níveis dos sinais correspondentes a passagens muito débeis, inclusive discriminando-as do NRA do ambiente taxa de compressão e limiar Qualquer programa submetido à compressão terá sua gama dinâmica reduzida, se comparada com a do programa original, não processado.

Se considerarmos que esta redução deliberada da gama dinâmica é uma forma de introduzir distorção aos sinais, seremos forçados a admitir que, do ponto de vista de qualidade, idealmente não teremos nenhuma compressão.

Isto é, ajustariamos a taxa de compressão para 1:1. O que sabemos, significa nenhuma

compressão.

Por outro lado, há dois aspectos a levar em conta.

O primeiro, que é fundamental, é que para uma dada taxa de compressão, o grau de redução da gama dinâmica de qualquer programa também depende de que limiar ajustamos.

Com efeito, quanto mais baixo é o limiar, maior a amplitude do programa que será comprimido. Como a taxa de compressão é ajustada para um valor fixo, quanto mais baixo é o limiar, maior é a redução da dinâmica.

Para limiares elevados, a redução só ocorre a partir das passagens de níveis mais altos, o que preserva intactas as passagens de baixos níveis. Todo o material contido entre o nível mais baixo de sinal, e o limiar, também não será comprimido.

Voltaremos a isso com mais detalhes logo a seguir.

O segundo aspecto refere-se ao tipo de programa em curso pelo sistema. Se a dinâmica que pretendemos moderar é a de um programa musical, então reduções elevadas tenderão a ser facilmente percebida por quaisquer ouvidos.

Ficam como exemplos de programas excessivamente comprimidos as transmissões de programas de rádio em FM.

Pense na seguinte hipótese.

Alguém vai gravar um programa ao vivo, que se sabe de antemão, terá uma gama dinâmica de 90 dB.

A tarefa do técnico é, usando um compressor, reduzir a dinâmica original dos 90 para 70 dB.

Esse técnico sabe que a taxa de compressão só é aplicável acima do limiar. Então, pensou ele, se o limiar for ajustado para 20 dB abaixo do nível máximo de sinal esperado, a diferença entre o nível mínimo de sinal e o limiar será de 70 dB.

Como essa é a gama dinâmica máxima que ele pode ter após a compressão, depois do processamento os sinais não deverão ultrapassar esse limiar. Isto é, no caso do limiar ser ajustado para 20 dB abaixo do nível máximo, a taxa de compressão deve ser ajustada para ∞ : 1.

E se eu ajustar o limiar para 25 dB abaixo daquele mesmo nível máximo ?, indaga nosso técnico.

Bem, nesse caso, a diferença entre o nível mínimo de sinal e o limiar é 65 dB.

O que significa que, para não ultrapassar a dinâmica de 70 dB, após a compressão os sinais ainda poderão excursionar 5 dB acima do limiar.

Então, para manter a dinâmica de 70 dB, os 25 dB que superam o limiar antes da compressão devem ser reduzidos para apenas 5 dB, depois dela. É só fazer as contas. A taxa

de compressão deverá ser 25:5, ou melhor, 5:1.

Raciocínio análogo nos mostra que para limiar ajustado para 30 abaixo do nível máximo de sinal, a taxa de compressão deve ser 30:10, ou 3:1. Do mesmo modo, limiares ajustados para 40, 50, 60, 70, 80 e 90 dB abaixo do limiar conduzem a taxas de compressão de 40:20 (2:1), 50:30 (1, 67:1), 60:40 (1,5:1), 70:50 (1,4:1), 80:60 (1,33:1) e 90:70 (1,28:1), respectivamente. Claro, tudo isso é válido apenas para o caso do exemplo acima. Mas o mesmo raciocínio de contas é aplicável a quaisquer outros casos.

A tabela 12.3 resume essas situações, aparentemente semelhantes.

tabela 12.3

GAMA DINÂMICA ORIGINAL = 90 dB				
ALTERNATIVA	LIMIAR (dB abaixo do nível máximo)	MAGNITUDE (dB) a ser comprimida	SINAL (dB) acima do limiar, após compressão	TAXA DE COMPRESSÃO
A	-20	20	0	∞:1
B	-25	25	5	5:1
C	-30	30	10	3:1
D	-40	40	20	2:1
E	-50	50	30	1,67:1
F	-60	60	40	1,5:1
G	-70	70	50	1,4:1
H	-80	80	60	1,3:1
I	-90	90	70	1,28:1

Se você entender bem o que vem agora, provavelmente terá compreendido o que há de mais importante em toda a técnica de compressão, e também, nas de limitação, de expansão, e de gating.

Muito bem.

Já que todas as alternativas acima são capazes de manter a gama dinâmica original de nosso caso exemplo, de 90 dB, nos 70 dB desejados, podemos dizer que elas são equivalentes. Então, surgem algumas perguntas.

O uso de qualquer delas também é equivalente? Há vantagens e desvantagens em usar uma delas em detrimento das demais?

Creio que você terá uma ideia bem mais concreta sobre isso, e talvez até queira se aventurar a dar a resposta, se visualizarmos essas situações equivalentes através de uma figura. A figura 12.25.

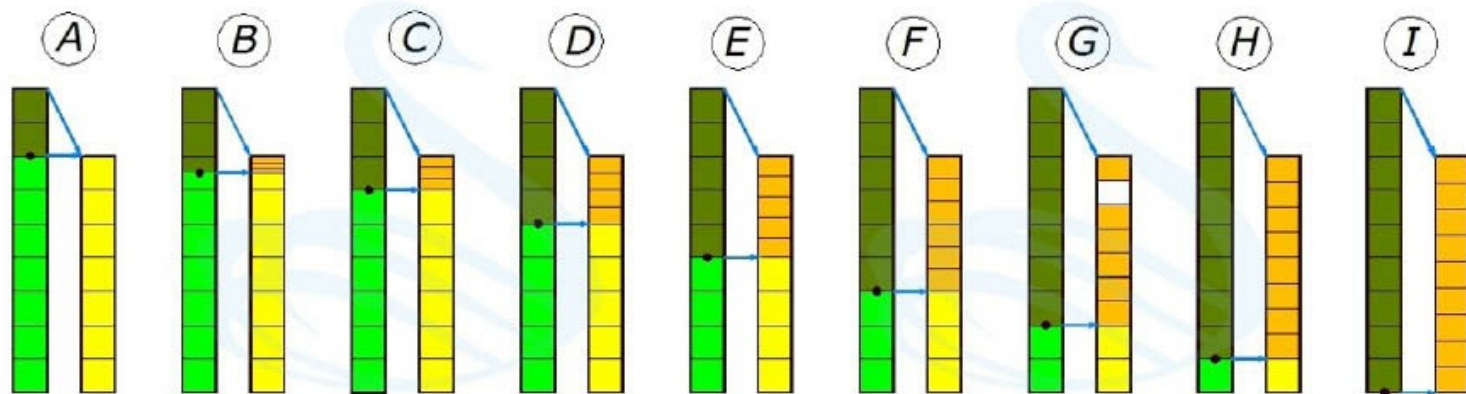


figura 12.25 a visualização gráfica das situações “equivalentes” da tabela 12.3
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 12.25, vemos 9 pares de retângulos. As letras A até I que designam cada par, correspondem às alternativas da tabela 12.3.

Em cada par, o retângulo esquerdo representa o sinal antes da compressão, e o direito o sinal após a compressão.

As bolinhas escuras indicam o ponto de limiar.

Voltemos nossa atenção para a figura 12.25.I. Notamos que o sinal processado não perde sua forma original, sendo apenas achatado igualmente no seu todo.

Analisando a figura 12.25.H, vemos que apenas uma pequena parte, no extremo inferior do retângulo que representa o sinal processado, não é achatada. Mas todas as demais são.

A figura 12.25.G nos mostra coisa semelhante. Só que a parte não achatada é maior do que no caso anterior. Em compensação, o achatamento do restante é mais severo do que na figura 12.25.H. O que indica maior taxa de compressão. E também, maior distorção em relação ao caso anterior.

Como esse mesmo comportamento vai se intensificando à medida que o limiar é mais elevado, e a taxa de compressão mais alta, percebemos até visualmente que as distorções são maiores para combinações de limiares mais elevados com taxas de compressão mais altas.

O que ora chamo de distorção é uma diferença mais pronunciada entre cada sinal processado e o sinal original, antes do processamento. Uma real mudança na estrutura da dinâmica do sinal.

Desse modo, considero que as alternativas com limiares mais baixos e taxas reduzidas são preferíveis. Mas é certo que cada alternativa é mais adequada para uma determinada situação.

Com efeito, os ajustes dependem muito do tipo de programa com o qual estamos lidamos, e ainda, de que resultados queremos obter.

Imagine que vamos comprimir um som produzido ao vivo. O gênero musical e os arranjos são tais que o nível médio do programa é relativamente moderado, e constante. Eventualmente algumas passagens se aproximam do nível máximo.

Então, talvez a melhor opção seja escolher uma combinação de limiar elevado com uma taxa de compressão também elevada.

A grande vantagem disso é que, nenhum processamento será imposto aos sinais durante a maior parte do tempo de execução das músicas.

Ou seja, a dinâmica original do programa estará sendo mantida durante quase todo o espetáculo.

E a compressão só ocorrerá ocasionalmente, quando aqueles picos eventuais ultrapassarem o limiar.

Mas se estivermos lidando com outro tipo programa, no qual as músicas são caracterizadas por picos elevados muito frequentes, quase todos eles próximos do nível máximo, então a provável melhor opção será por uma combinação de limiar bem baixo, com taxa de compressão muito moderada.

Vamos entender bem a diferença entre essas duas situações.

Ao contrário do primeiro caso, no segundo temos que comprimir o programa muito amiúde.

E se isso é verdade, então a compressão aplicada de forma bem gradual, certamente trará melhores resultados sônicos do que muitas alterações abruptas, que certamente ocorreriam em profusão. E uma das formas de tornar a compressão gradual é iniciando-a com níveis reduzidos de sinal.

Naturalmente, cada tipo de programa exige que encontremos a melhor combinação de limiar com taxa, para que o resultado pareça ser o mais natural possível, após a compressão.

Se a compressão é feita com a voz humana, podemos distinguir dois casos extremos. Um, quando a pessoa que usa o microfone não está habituada a isso. E mantendo sempre a mesma potência vocal, ora aproxima muito sua boca da cápsula do transdutor, ora a afasta muito. Isso, quando também não vira a cabeça de lado, deixando o microfone onde estava antes.

No outro extremo estão os casos dos artistas muito experientes, que empregam técnicas de microfone para controlar a dinâmica de suas canções.

Procure reparar nisso no próximo espetáculo que estiver presente.

No primeiro caso, se a pessoa que usa o microfone tem seu próprio monitor, e a taxa de compressão é 1:1, a tendência é de que a forma de utilizar o microfone seja corrigida. Ao menos parcialmente. Mas como isso não é uma certeza, até porque pessoas pouco experientes não costumam tirar todas as vantagens de um sistema de monitoração, sempre haverá riscos de distorções por clipamento, e também, de termos baixos níveis de pressão sonora, afetando diretamente a inteligibilidade.

No segundo caso, mesmo artistas experientes, ele ou ela poderá estar usando sua técnica de microfone apenas para realçar sua emoção, e acentuar as diferenças entre os níveis das passagens musicais.

Nesse caso, os artistas poderão estar controlando a dinâmica no sentido de aumentá-la, e

não de reduzi-la. Nesses casos, se necessário, a compressão deve ser utilizada apenas para assegurar que a dinâmica fique condicionada a uma faixa segura. De preferência, sem que seja percebida.

Assim, com pessoas experientes ou não ao microfone, a compressão pode ser um excelente instrumento de controle da gama dinâmica.

Tudo o que vimos deve nos mostrar claramente que o ajuste da taxa de compressão depende não só ajuste do limiar, mas também do material que será processado.

Por essa razão, não é uma boa ideia estabelecer uma taxa de compressão fixa para todas as situações. É possível até que a taxa ajustada num dia não seja a melhor para o mesmo artista e mesma equipe, com o mesmo repertório, na apresentação do dia seguinte.

Por outro lado, o ajuste do limiar também depende muito do que se quer fazer com o compressor.

Se temos em mente utilizar o processador para diminuir as chances de ocorrência de distorção por clipamento, e assim, reduzir as possibilidades de danos aos amplificadores e caixas acústicas, podemos trabalhar com limiares mais elevados e taxas também mais elevadas.

Se queremos levantar as passagens de baixo nível, aumentando-as em relação ao NRA, e assim aumentar a inteligibilidade, somos obrigados a trabalhar com limiares bem baixos. O que sugere que as taxas de compressão sejam muito moderadas.

Vimos que a compressão é uma forma de introduzir distorções.

Mas é evidente que muito pior do que a distorção intencional provocada pela compressão é a falta de inteligibilidade provocada por sussurros mergulhados em ruídos, ou vozes distorcidas por clipamento. Para não falarmos nos riscos de danos ao equipamento, e paralisação ou degradação da qualidade técnica do espetáculo.

É nesse sentido que o uso da compressão é desejável.

Mas há uma coisa que devemos saber. Nenhum compressor é perfeito. Principalmente quando falamos de seu limiar. Senão, vejamos.

Qualquer análise superficial que façamos da energia espectral de quaisquer programas nos levarão a concluir que os níveis mais elevados de energia se concentram na região das baixas frequências.

Isso significa que, qualquer que seja o ajuste de limiar, quando esse nível for ultrapassado por picos de baixas frequências, parte do programa contendo médias e altas frequências também serão comprimidos, sem qualquer motivo para que isso aconteça.

A saída clássica para esse inconveniente é usar a cadeia lateral, como veremos logo a seguir.

Voltando para o típico espectro dos sinais de áudio, e ligando isso aos sistemas multivias, vem a ideia de aplicar compressores com esses sistemas. O que é técnica muito eficaz.

Emprega-se um compressor para cada via, e ajusta-se o limiar de acordo com cada uma delas. Ou seja, valores de limiar mais elevados para as frequências mais altas. Isso pode ser até um pouco mais caro, e nem sempre teremos como fazer nosso cliente avaliar o quanto de benefício será a contrapartida de seu maior investimento. Mas os resultados assim obtidos são excepcionalmente bons.

Mas não pretendo botar panos quentes na situação.

Ajustar corretamente um compressor não é fácil. Se o próprio ajuste do limiar sozinho já dá margem para dúvidas se estamos ou não fazendo o melhor que podemos, não devemos esquecer que o caldo engrossa quando colocamos outros ingredientes na panela.

Especialmente os tempos de ataque e de release, e a taxa de compressão. E aí temos um quadro em que, qualquer alteração pequena num desses ajustes pode trazer grandes alterações sônicas. E o pior, a natureza do programa em curso pelo sistema, variável por natureza, também entra nesse jogo, e com peso muito forte.

Portanto, ajustando o processador para a proteção do sistema, devemos nos orientar pelo critério de que o limiar deve ser ajustado para os valores mais elevados que ainda possam oferecer o grau adicional de proteção pretendido.

Se estamos ajustando para melhorar a inteligibilidade, temos que trabalhar com baixos limiares, mas com a contrapartida de taxas reduzidas.

Uma dica final sobre o ajuste da taxa de compressão. Jamais use mais compressão do que é preciso.

Taxas de 1,5:1 já podem surtir efeitos muito pronunciados. Disse anteriormente e repito agora. Recomendo que não se trabalhe com taxas superiores a 3:1, e na pior das hipóteses, 4:1. Mesmo assim, apenas em casos excepcionais.

Não se impressione ao deparar com processadores cujos ajustes da taxa de compressão podem chegar a 50:1, ou mesmo mais. Se você ajustasse um limiar bem baixo, com taxa de 50:1 poderia mudar a gama dinâmica de um programa de 100,0 dB para apenas 2,0 dB !!!

Claro, o resultado seria grotesco.

tempo de ataque

Agora que sabemos porque o limiar e a taxa de compressão são tão importantes, e de que modo eles se relacionam, devemos compreender que ambos guardam relação absolutamente estreita com os parâmetros temporais do compressor. Nominalmente, os tempos de ataque e de release.

Essa interação de parâmetros é tão intensa que um compressor com limiar e a taxa de compressão ajustados com perfeição, pode apresentar desempenho sofrível apenas porque o tempo de ataque está desajustado.

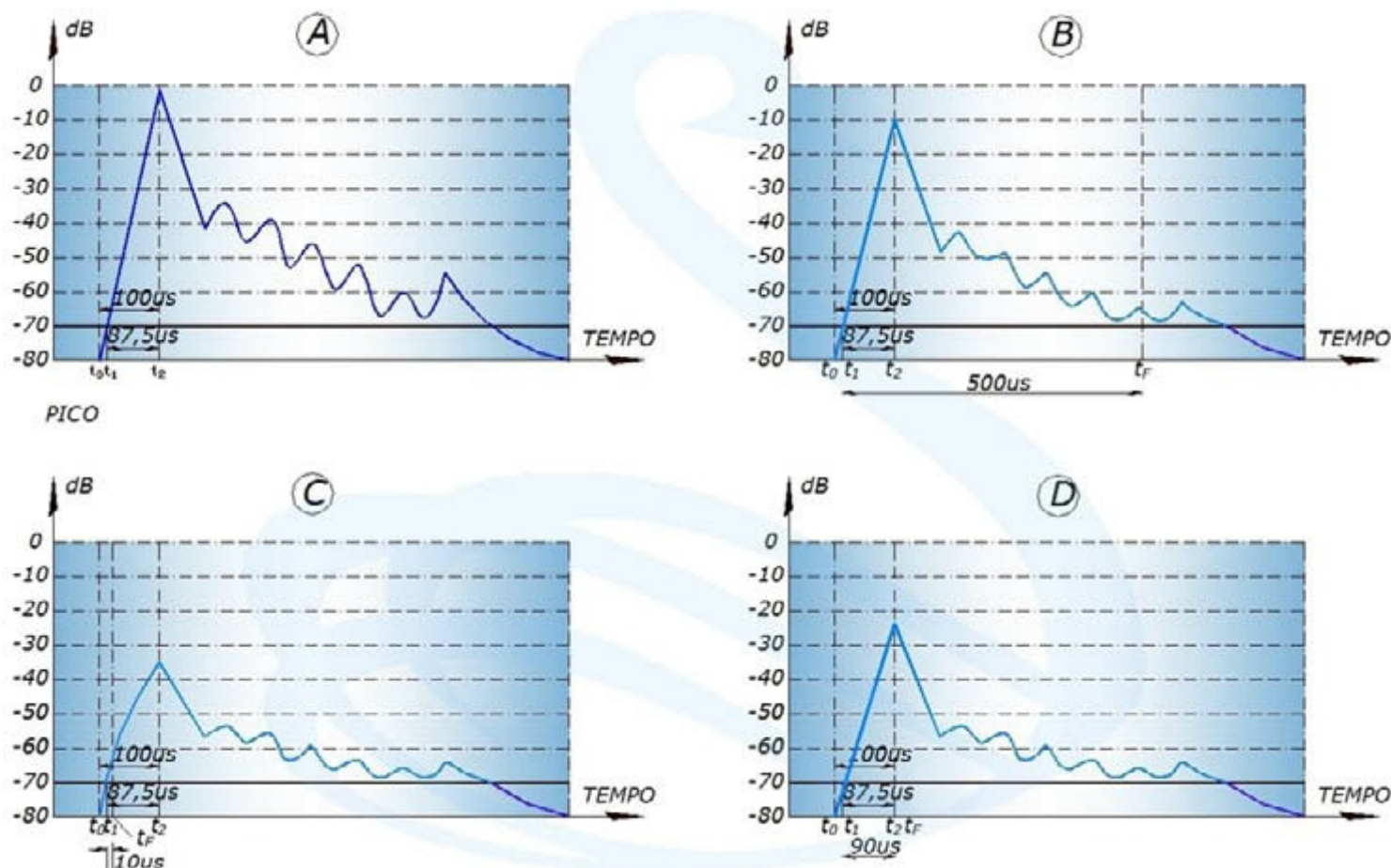


figura 12.26 os detalhes de um mesmo envelope processado com diferentes tempos de ataque do compressor acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Sei que esse aspecto não é tão discutido quanto deveria, quer em livros, quer em revistas. E quando digo deveria, faço por saber que o entendimento disso é uma das chaves que podem fazer com que um indivíduo trabalhar bem com um compressor.

Assim, me valho da figura 12.26 para lançar tanta luz quanto me parece preciso para que não se tenha mais dúvidas sobre a questão.

A figura 12.26.A representa o envelope natural de um som hipotético qualquer. Estão claramente indicadas as fases de ataque, queda, sustentação e extinção (ADSR) do som, bem como o nível de -70 dB, que é o limiar deste nosso exemplo. A taxa de compressão também está definida, e é 2:1.

O ataque natural do som é de 100 microssegundos. Ele inicia no instante t_0 e termina no instante t_2 . Entretanto, é no instante t_1 que o aumento de intensidade do som, durante a fase de

ataque, atinge o valor do limiar.

Portanto, ao fixar o limiar que fixamos, queremos comprimir todo o ataque acima dele. Isto é, a partir do instante t_1 . Portanto, do ponto de vista de compressão, todo o ataque ocorrerá em 87,5 microssegundos, contados a partir de do instante t_1 .

Vejamos então o que acontece quando o tempo de ataque do compressor é ajustado para tempo muito longo. Isso é o que mostra a figura 12.26.B. Ela nos mostra a curva comprimida que resulta quando o tempo de ataque do compressor é ajustado para 500 microssegundos. Isto é, o tempo que escoar entre o instante t_1 e o instante t_F .

Até o instante t_1 o ganho do processador é normal. Isto é, a taxa de compressão é 1:1.

A partir disso a taxa de compressão começa a aumentar de forma gradual, até atingir seu valor de ajuste, isto é, 2:1, no instante t_F . Se esse aumento gradual for linear, podemos estabelecer que a taxa de compressão aumenta na razão de 0,02 a cada 10 microssegundos.

E podemos montar uma tabela para mostrar o aumento gradual da taxa de compressão do processador em função do tempo, a partir de t_1 . Esses dados ficam como na tabela 12.4 que, no caso, para efeito de simplificação fica restrita a 100 microssegundos a contar de t_1 .

tabela 12.4

instante t_1 + microssegundos	taxa de compressão
10	1,02:1
20	1,04:1
30	1,06:1
40	1,08:1
50	1,10:1
60	1,12:1
70	1,14:1
80	1,16:1
87	1,174:1
90	1,18:1
100	1,20:1

Bem amigos, embora nosso exemplo seja singelo, esta é a essência do conceito de tempo de ataque de compressor.

Se analisarmos as taxas de compressão da tabela 12.4, veremos que o ataque natural do som vai sendo progressivamente mais comprimido entre o instante t_1 , quando começa a compressão, e o instante t_2 , que determina o final do ataque natural. Percebe-se que no instante t_2 a compressão aplicada ao ataque natural do som é máxima. Mas isso é realmente muito pouco, uma vez que nesse instante a taxa ainda é apenas 1,174:1.

Isto porque, em função do tempo de ataque de 500 microssegundos, como ajustado, o processador não “teve tempo” para aumentar sua taxa além disso no instante t_2 .

O resultado é o que exibe a figura 12.26.B. Nota-se que o ataque do som que queríamos comprimir praticamente não foi comprimido.

Com a compressão ajustada com tempos de ataque elevados, certamente as dinâmicas são menos “achatadas”. Mas em contrapartida, a ação preventiva do processador é menos eficaz.

Com efeito, os picos que passam praticamente incólumes pelo processador, podem saturar a eletrônica do sistema, colocando em risco amplificadores e caixas acústicas. Razão fundamental que nos leva a utilizar os compressores.

Quanto maior é a diferença entre o tempo de ataque do compressor e o tempo de ataque natural dos sons, menor é o efeito da compressão que se faz presente durante a fase de ataque natural dos sons.

Em meus cursos de áudio, cada vez que abordo esse tema, muitos alunos me fazem uma pergunta que entendo ser muito pertinente. “Mas se corremos o risco de deixar de comprimir com tempos de ataque muito longos, porque simplesmente não ajustar esse tempo sempre para seu menor valor? “

É certo que desse modo praticamente não corremos riscos de deixar de comprimir os sinais.

Vamos nos concentrar na figura 12.26.C.

Lá está o caso do compressor ajustado com tempo de ataque muito rápido em relação ao ataque natural do som. Como antes, o tempo de ataque do compressor inicia no instante t_1 e termina no instante t_F . Mas agora, a diferença ($t_F - t_1$) é de apenas 10 microssegundos.

Então, no instante t_F a taxa de compressão já é 2:1. O que, em termos cronológicos, ocorre ainda no início da fase de ataque natural do som. A partir do instante t_F , e até que o sinal caia abaixo do limiar, os sinais serão comprimidos com a taxa de 2:1.

A figura 12.26.C mostra como fica a aparência do ataque comprimido.

Mas será que quando pensamos em aplicar compressão com taxa de 2:1 foi exatamente essa compressão que tínhamos em mente?

Para responder a essa pergunta devemos saber que quando os ataques naturais são comprimidos de maneira acentuada, e muito rapidamente, como ocorre com tempos de ataque ajustados para valores muito reduzidos, estamos subtraindo consideravelmente o “punch” característico de muitos sons, a exemplo dos percussivos. E isso tira a assinatura própria e natural da maioria dos sons.

Por si só, esse motivo já seria suficientemente forte para que pensássemos em alternativa melhor.

Mas há um outro problema, tão sério quanto este. Ou mais.

Quando o compressor atua muito rapidamente, geralmente há um efeito colateral. Trata-se

do “breathing” (respiração), que é um efeito claramente audível. O nome procede, porque sua audição realmente lembra alguém respirando profundamente.

O efeito acontece porque os ruídos, muito afastados dos níveis máximos de sinal pela dinâmica natural do programa, antes da compressão, quase que de um momento para outro se fazem bem mais elevados, com a compressão. Gerando uma situação de forte contraste.

Vejamos então a figura 12.26.D. Agora, o tempo de ataque do compressor foi fixado em 90 microssegundos. Portanto, um valor bem próximo do ataque natural do som.

Sabemos que a partir do instante t_1 a taxa de compressão aumenta gradualmente, até atingir a marca 2:1 no instante t_F . Com aumento gradual linear, a razão de aumento da taxa de compressão é aproximadamente 0,111 a cada 10 microssegundos.

Pois bem. A figura 12.26.D mostra o ataque natural sendo progressivamente comprimido a partir do instante t_1 . E agora, a compressão que chega a 2:1 no instante t_F , praticamente coincidente com o instante t_2 .

Este é um ajuste suficientemente rápido para assegurar a compressão gradual e “natural” do ataque, e ainda, sem impor tempo de ataque tão rápido a ponto de produzir efeitos audíveis.

Por outro lado, a ação preventiva do processador estará sendo utilizada com maestria.

Podemos dizer então que, idealmente, o tempo de ataque do compressor deve ser ajustado para o mesmo tempo de ataque natural dos sons que serão processados. Essa verdade teórica deve ser encarada com a devida reserva, pois na prática não vamos encontrar situações em que os ataques naturais são todos aproximadamente semelhantes. Então, devemos nos aproximar daquilo na medida do possível.

Por mais semelhantes que as curvas das figuras 12.26.A a 12.26.D possam parecer, a sutileza das diferenças determina o que é correto, e o que não é.

Por isso mesmo, recomendo que você gaste um pouco de tempo fazendo uma análise bem profunda de cada uma dessas situações, comparando-as entre si, e procurando relacionar os ajustes de tempo de ataque em cada caso com seus correspondentes sônicos, como representados graficamente.

Muitas são as pessoas que julgam que independentemente de que tempo de ataque possa ser ajustado, é sempre possível que ataques naturais muito rápidos passem pelo compressor sem a devida compressão. E isso é bem verdade.

Por outro lado, é uma verdade que não deve nos preocupar. A menos que não tenhamos ajustado corretamente o tempo de ataque do processador.

Porque, como havíamos discutido anteriormente, eletrônica e falantes podem reproduzir por períodos muito curtos níveis mais elevados do que o fazem em regime contínuo. E assim, esses ataques naturais que “burlam” o processador são tão rápidos que dificilmente podem

colocar qualquer coisa em risco.

Nos melhores compressores, o tempo de ataque pode ser continuamente ajustado. Quando esse é o caso, o ajuste mínimo está por volta de 5 microssegundos, e o máximo é da ordem de 100 ou 200 milissegundos.

Para ajustar o tempo de ataque na prática, sugiro a seguinte sequência: • estabeleça e ajuste o limiar • estabeleça e ajuste a taxa de compressão • ajuste o tempo de ataque para o menor tempo que o processador permitir • ouça o resultado, e vá aumentando o tempo de ataque aos poucos, até que não haja quaisquer sinais ou sintomas do efeito respiração Nos compressores com menos recursos, o tempo de ataque é fixo e pré ajustado em fábrica.

Noutros, esse tempo é ajustado automaticamente em tempo quase real, o que é possível a partir de uma análise dinâmica, feita constantemente pelo aparelho sobre os sinais em processamento.

tempo de extinção (release) Já vimos que o tempo de release de um compressor é o tempo que o mesmo leva para voltar a sua condição de não comprimir, após o sinal ter caído abaixo do limiar.

Ou seja, o tempo que ele leva para deixas de trabalhar com ganho reduzido, para voltar ao ganho normal.

Nos melhores compressores esse tempo é ajustável entre 50 milissegundos e alguns segundos.

Vimos no capítulo 4 que tempos de extinção muito longos podem causar problemas.

Neste momento, devemos discutir isso com mais detalhes, lembrando que a extinção só pode começar quando o sinal passa a ser inferior ao limiar.

Imaginemos então um caso no qual o compressor tenha sido ajustado para tempo de release elevado. Digamos, 2 segundos.

Neste caso, se imediatamente após o início da fase de extinção ocorrer uma pausa musical de duração relativamente longa, os ruídos serão desnecessariamente enfatizados. Sem que haja necessidade do processador exercer quaisquer funções de proteger a eletrônica e as caixas acústicas do sistema.

Parece que há algo errado, não?

Por isso mesmo, também há outra pergunta que ouço muitas vezes “então, porque não ajustar sempre o tempo de release do compressor para o menor valor que o processador ainda permite?”

Quando o tempo de release é ajustado para valores muito reduzidos, ao voltar abruptamente de um ganho reduzido para o ganho normal, o processador produz um efeito sônico desagradável, conhecido por efeito “pumping” ou efeito “thumping” (batimento).

Esse efeito, facilmente perceptível, causa uma sensação de irritação progressiva.

O ruído em si lembra bem os nomes dados aos correspondentes efeitos.

Ele acontece porque, na rápida transição do estado de compressão para o de não compressão, assim como os sinais de baixo nível são subitamente aumentados, os ruídos também o são, e por isso, acabam sendo ouvidos.

Eis uma boa razão para não se operar compressores com tempos de release inferiores a 50 milissegundos, sendo 100 milissegundos uma alternativa sempre melhor para casos gerais.

Por outro lado, tempos de release inferiores aos 50 ou 100 milissegundos fazem com que o processador siga mais rapidamente a dinâmica dos programas musicais cujos releases naturais são muito rápidos.

Tempos de release de 500 milissegundos, ou superiores, podem ser necessários para prevenir a ocorrência de distorções harmônicas durante a reprodução de instrumentos de registro mais baixos. Inclusive de voz humana.

Uma boa técnica para ajustar na prática o tempo de release de um compressor é caminhar na seguinte ordem: • estabeleça e ajuste o limiar • estabeleça e ajuste a taxa de compressão • ajuste o tempo de ataque • ajuste o tempo de release para o menor tempo que o processador permitir • ouça o resultado, e vá aumentando o tempo de release aos poucos, até que não haja quaisquer sinais ou sintomas do efeito batimento, e de distorções harmônicas Nos compressores com menos recursos, os tempos de release são fixos e pré ajustados em fábrica para valores intermediários entre 100 e 500 milissegundos.

Também há compressores que ajustam automaticamente o tempo de release, a partir de uma análise dinâmica, feita constantemente pelo aparelho sobre os sinais em processamento.

Na prática, há sempre uma certa dificuldade no ajuste dos tempos de release. Mas as técnicas se desenvolvem rapidamente com a experiência prática. E é certo que o tipo do programa a ser comprimido deve ser necessariamente levado em conta.

joelho

Vimos antes o que é o joelho. Ou ponto de inflexão.

Quando o joelho é ajustado para valores mais “soft”, então a compressão realmente inicia antes do sinal atingir o limiar. E a taxa aumenta bem gradual. O que confere aos sinais processados uma propriedade bem natural.

Inversamente, ajustes mais “hard” de joelho fazem com que a compressão seja menos gradual.

Os ajustes “soft” são possíveis em quaisquer casos, mas muito utilizados para a compressão individual de instrumentos e de vozes.

Para a compressão de programas complexos, especialmente de som ao vivo, é provável que o que mais se queira seja a obtenção de níveis de programa mais próximos do limite máximo. E isso requer que os joelhos sejam ajustados para suas condições mais “hard”.

cadeia lateral

A cadeia lateral dos compressores constitui um recurso muito útil em mãos experientes.

Uma de suas principais funções é possibilitar que o compressor faça o ajuste automático dos parâmetros temporais, como discutimos acima.

Para que isso possa acontecer, é preciso que o processador “tenha tempo” fazer a análise da dinâmica dos sinais a cada instante.

A técnica utilizada é incrivelmente simples. O sinal de entrada é inicialmente dividido em duas partes. Uma encaminhada para a cadeia lateral, e outra que segue para o processamento. Só que esta última sofre um pequeno atraso de sinais.

Assim, a análise acontece antes do processamento. E com isso, o processamento pode ser facilmente governado pelos resultados da análise.

Esse é o expediente empregado durante os ajustes automáticos dos tempos de ataque e de release.

Quando não queremos aplicar a compressão indistintamente a todas as frequências do espectro de áudio, mas seletivamente, também fazemos uso da cadeia lateral.

Tomamos uma amostra do sinal de entrada, e a filtramos para rejeitar as bandas de frequência que não temos interesse em comprimir. E esse sinal já filtrado, que queremos que comande a atuação do processador, é que injetamos na entrada da cadeia.

Com isso, o controle do processador será exercido apenas pelas frequências que queremos comprimir, e todas as demais serão rejeitadas. Ainda que seus níveis ultrapassem o limiar.

Vimos no capítulo 4 que outra aplicação semelhante é utilizar o compressor como um de-esser.

Outro exemplo de aplicação de compressor é a função ducking, discutida a seguir.

ducking

A facilidade ducking exige a utilização da cadeia lateral.

Podemos visualizar o recurso ducking com um exemplo.

Imagine uma apresentação musical na qual há vários trechos de narração.

Podemos entrar com os sinais correspondentes a apresentação musical na entrada principal do compressor, e com os sinais da narração na entrada da cadeia lateral.

Com esse arranjo, enquanto só houver música, ela estará presente na saída do compressor sem qualquer compressão. Mas quando houver narração, os sinais de controle na cadeia lateral acionarão o processador, que comprimirá a música.

Desse modo, a música torna-se automaticamente atenuada sempre que houver narração.

gain reduction e gain control A redução de ganho é uma consequência óbvia da compressão. Muitos compressores apresentam dislêi que mostram a redução instantânea de ganho. Nesses casos, geralmente há um controle de ganho, que atua sobre os sinais de saída do processador. Para que possamos operá-lo com ganho unitário, é preciso aumentar o ganho na proporção do ganho perdido com o processamento.

interdependência dos parâmetros Uma das coisas mais importantes com os compressores, é que os ajustes dos diversos parâmetros são interdependentes.

Se tivermos uma excelente combinação de ajustes de limiar com taxa, um bom ajuste de tempo de extinção, mas um tempo de ataque muito longo, todo o processamento poderá estar prejudicado. O mesmo acontecendo com qualquer outro parâmetro mal ajustado.

O que acabamos de discutir evidencia porque é difícil, se não impossível, comprimir com perfeição um sinal musical complexo, como o produzido por diversos instrumentos de uma banda, cada qual com suas próprias características de envelope.

Nesses casos, uma solução de compromisso é inevitável. Os ouvidos do técnico que está ajustando o compressor será o juiz final da solução a ser adotada.

12.2.5.2 Limitadores Vimos antes que um limitador é um particular tipo de compressor. A rigor, as circuitações dos compressores e dos limitadores são as mesmas. A diferença fica apenas por conta dos ajustes dos parâmetros.

taxa de compressão

A taxa de compressão dos limitadores é invariavelmente ajustada para valores muito elevados. Nunca inferior a 10:1.

limiar de compressão Os limiares de compressão dos limitadores também são sempre ajustados para valores muito elevados, de sorte que apenas picos e transientes sejam

comprimidos pelo processador.

Geralmente esses pontos correspondem a níveis de sinal que estão a poucos decibels dos pontos de saturação dos amplificadores. Como 2 ou 3 decibels. As contas podem ser feitas como vimos para o caso dos compressores.

tempo de ataque

Para que os limitadores atuem com eficiência, podendo comprimir picos e transientes, que são muito rápidos por definição, seus tempos de ataque devem ser tipicamente algo entre 1 e 300 microssegundos.

Uma vez que a regra é operar com tempos tão reduzidos, muitos limitadores não dispõem desse ajuste, que é feito em fábrica para valores usualmente fixados de 20 a 50 microssegundos.

Contudo, como há limitadores com tempos de ataque ajustáveis, talvez você tenha que fazer esses ajustes de vez em quando. Nesses casos, observe os limites acima mencionados.

tempo de release

Do mesmo modo que o tempo de ataque, o tempo de extinção dos limitadores também costuma ser pré ajustado em fábrica para os valores consistentes com a eliminação de efeitos audíveis, tipo respiração e bombeamento (“pumping”).

Guardadas as devidas proporções, o que vimos de combinação de limiar com taxa também é aplicável aos limitadores. Assim, não devemos limitar mais do que é preciso, pois estaríamos degradando o resultado sônico além do que seria realmente preciso.

12.2.5.3 Expansores Outra daquelas perguntas que ouço com muita frequência “mas se foi preciso que inventassem os compressores para reduzir a gama dinâmica dos programas, então porque precisamos de expansores para fazer o contrário?”.

Naturalmente, à primeira vista a coisa pode parecer mesmo sem sentido.

Mas como vimos no capítulo 4, os compressores foram e ainda são muito usados como ferramenta para reduzir a gama dinâmica dos programas antes que eles sejam gravados em meios magnéticos. Isto porque esses meios magnéticos, e alguns outros, com é bem conhecido, são dinamicamente muito limitados.

Então, os expansores surgiram como a ferramenta mais lógica para devolver a dinâmica original dos programas assim gravados. E com isso, restaurar-lhes as características primitivas. Mas será mesmo? Veremos. Naturalmente, os expansores também podem ser empregados para aumentar a dinâmica de quaisquer programas julgados com falta desse atributo.

Os expansores podem ajudar a incrementar o grau de realismo de uma série de programas, a exemplo de playbacks em peças teatrais, de trilhas de filmes, e assim por diante.

Também é possível aplicar a expansão em vozes gravadas, e mesmos em instrumentos musicais não acústicos, reproduzindo ao vivo, especialmente os de baixa qualidade.

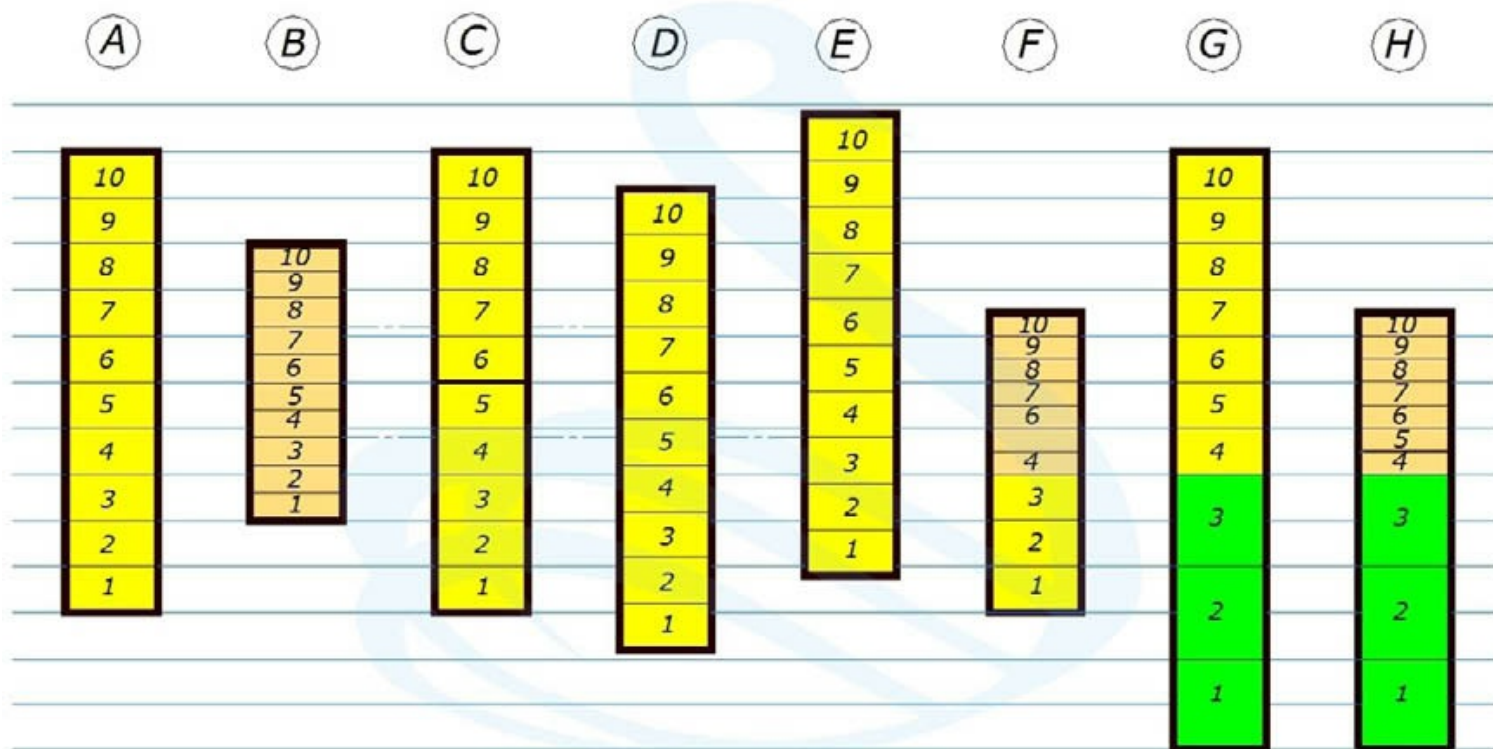


figura 12.27 a razão da distorção de escala acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Também vimos no capítulo 4 que há dois tipos de expansores. Os que aumentam os níveis dos sinais que estão acima do limiar, e reduzem os dos que estão abaixo dele, e os que apenas reduzem os níveis dos sinais que estão abaixo do limiar. Para efeito desta nossa discussão, vamos chamá-los de tipo I e II, respectivamente.

Bem, estamos começando a entrar numa área que considero realmente muito pouco discutida, e entendida. Talvez porque se diga tanto, e de forma tão simplista, que os expansores fazem exatamente o trabalho inverso do dos compressores.

Como se isso fosse toda a verdade. E quem não parar para pensar, e acreditar, pode acabar com problemas. Da espécie que chamo de distorção de escalas. Vamos tentar ver o que é isso com a ajuda da figura 12.27.

A figura 12.27.A representa um programa com sua gama dinâmica natural, arbitrariamente graduada de 1 até 10.

Na figura 12.27.B vemos o programa comprimido por um típico compressor de gravação. Vemos que o programa foi todo comprimido. O que significa que o limiar é igual ao menor nível de programa possível. Se cada divisão horizontal representasse 10 dB, os 100 dB originais seriam então apenas 60 dB, após a compressão. O que equivale a uma taxa de 100:60, ou 1,66:1.

Se usarmos um expensor do tipo I para expandir a dinâmica da figura 12.27.B, e ajustarmos o limiar para a marca da figura 12.27.C, e uma taxa de expansão igual à da compressão, isto é, 1,66:1, como mostra a figura, reconstituiremos exatamente o sinal da figura 12.27.A.

Se o limiar for fixado para um valor mais elevado (ou inferior) do que o da figura 12.27.C, teremos as dinâmicas que mostram as figuras 12.27.D e 12.27.E, respectivamente.

Convém notar que, afora o deslocamento vertical na escala, as proporções originais são integralmente preservadas.

Assim, vemos que os expansores realmente podem fazer o trabalho inverso do dos compressores.

Mas vejamos agora o que ocorre com o programa da figura 12.27.A, quando processado por um compressor moderno, com o limiar ajustado para a marca acima do retângulo 3, e taxa de compressão de 2:1. É o que mostra a figura 12.27.F. Aproveito a oportunidade para chamar sua atenção para a espécie de distorção que a compressão impõe ao programa. Agora deve parecer bem visível.

Mas estamos realmente interessados em ver o que acontece com a dinâmica desse programa da figura 12.27.F, quando tratado por quaisquer expansores.

Se usarmos o expansor tipo I, com o mesmo limiar utilizado na compressão, e taxa de expansão igual à taxa de compressão utilizada antes, ou seja, 2:1, teremos o que mostra a figura 12.27.G. Percebe-se que, independentemente de que taxa e limiar possamos usar, não teremos mais como recompor as proporções originais do sinal.

E se usarmos um expansor do tipo II, ainda com o mesmo limiar e taxa utilizados na compressão, teremos o que mostra a figura 12.27.H.

Vemos então que, antes de se poder recuperar qualquer coisa, estamos é impondo deliberadamente uma terrível distorção ao sinal. E é exatamente esse tipo de efeito que chamo distorção de escala.

Se usássemos o expansor tipo II para expandir a dinâmica da figura 12.27.C ainda teríamos a mesma forma de distorção, porém, menos acentuada que a da figura 12.27.H.

Bem, aí estão os fatos como eles são. Sem firulas e sem prestidigitações mercadológicas de fabricantes.

Esses fatos nos informam que não devemos usar os expansores do tipo II para recuperar dinâmicas de programas. Assim, tais processadores só podem ser utilizados como noise gates, o que veremos adiante.

E o que discutiremos agora é a forma de ajustar parâmetros dos expansores do tipo I. Portanto, esse tipo de expansor é empregado exclusivamente para restaurar gamas dinâmicas que por uma ou por outra razão se tornaram muito comprimidas. Mas não as de quaisquer programas. Apenas as dos que foram comprimidos com limiares muito reduzidos. Ou teremos a situação da figura 12.26.G.

Percebe-se também que os expansores são empregados principalmente para processar sinais já registrados. E seu uso em espetáculos ao vivo, ou em gravações, é muito raro.

taxa de expansão

Para qualquer expansor do tipo I, quanto maior é a taxa de expansão maior é o aumento da gama dinâmica na saída do processador. Independentemente do ajuste do limiar. Daí a

reputação de radical deste aparelho. O que sugere que as taxas de expansão sejam ajustadas com extrema cautela.

Idealmente, deveríamos ter certeza de que o programa a ser expandido foi comprimido com limiar muito próximo dos níveis mais baixos encontrados ao longo de todo o programa. E então, tudo o que temos a fazer é ajustar a taxa de expansão para um valor próximo do utilizado como taxa de compressão.

A menos que você saiba que taxa de compressão foi utilizada, aqui, a experiência e os ouvidos são os instrumentos que você tem disponíveis para acertar o valor da taxa de expansão. Valores muito reduzidos, ou muito elevados, conduzirão a gamas dinâmicas pouco naturais.

Com taxas de expansão exageradas, o sistema poderá passar a correr riscos de danos permanentes. E além disso, os sinais de baixos níveis, antes comprimidos, após expansão estarão muito mais próximos dos níveis residuais de ruído, e acusticamente, muito mais próximos do NRA do ambiente. O que definitivamente impõe um teto para o ajuste da taxa de expansão.

Em caso de dúvida, a recomendação é para que ela seja moderada. E novamente, não se deixe impressionar por expansores cujas taxas podem ser ajustadas a valores que chegam a 20:1.

limiar

Já sabemos agora que, nos expansores do tipo I, uma vez estabelecida a taxa de expansão, qualquer que seja o ajuste do limiar, a dinâmica resultante não será alterada.

Oriente-se pelas figura 12.27.D e 12.27.E.

Elas nos indicam que se o limiar é ajustado para um valor muito elevado, a dinâmica será expandida principalmente para baixo. E isso implica em que as passagens de níveis mais baixos podem acabar mergulhadas nos ruídos elétricos e acústicos. Em última análise, isso significa que não estaríamos realmente obtendo a dinâmica desejada.

Por outro lado, as figuras também mostram que limiares muito reduzidos fazem com que a expansão se dê no sentido de aumentar muito os níveis elétricos dos sinais, que em casos extremos podem saturar outros aparelhos, inclusive amplificadores, e detonar com facilidade caixas acústicas.

Quando limiares muito elevados, além de “esconder” os sinais no meio dos ruídos, também provocam picos e transientes perigosos para o sistema, o sintoma é claro. A taxa de expansão ainda é muito elevada. Mas se ao invés disso, ainda houver bastante margem na parte superior, o melhor é reduzir o limiar até um ponto que ainda não comprometa a integridade do sistema.

Do mesmo modo, limiares muito reduzidos que colocam o sistema em risco, e além disso, que “escondam” os sinais nos ruídos, o sintoma é o mesmo que o anterior. E a taxa deve ser reduzida.

Entretanto, se esses limiares reduzidos não estiverem sendo perigosos para o sistema, o que é raro, e além disso, apresentarem uma certa margem entre os níveis mais baixos de sinal, e os ruídos, então será possível reduzi-los ainda mais um pouco.

Mas essa redução deve ser feita com muito cuidado, pois a tendência é dos picos e transientes aumentarem consideravelmente, mesmo para pequenas alterações de limiar.

Não acredite que um bom ajuste de limiar de expansor se faz igualando-o ao limiar utilizado na compressão. Isso pode ou não ser verdadeiro, dependendo de cada caso.

Se o que se pretende é apenas aumentar a gama dinâmica de um programa gravado em fita, ou transmitido por rádio, o limiar pode ser ajustado para valores relativamente reduzidos. Entretanto, se esses mesmos programas tiverem que ser reproduzidos por um sistema de reforço, devemos lembrar que antes da expansão, é a compressão que nos ajuda a proteger as partes do sistema, e ainda, a melhorar as marcas de inteligibilidade.

tempos de ataque e de release Os tempos de ataque e de release de um expansor são ajustados da mesma maneira que se ajusta o tempo de ataque e de release de um compressor. E as gamas de ajuste dos expansores e compressores também são muito parecidas.

12.2.5.4 Noise Gates O noise gate é um expensor do tipo II. Seu desenvolvimento não está orientado para o aumento ou recuperação da gama dinâmica de programas, mas para eliminar ou atenuar sinais abaixo de um limiar. Isto é, o programa principal, que deve estar acima do limiar, pode passar pelo processador sem quaisquer alterações.

Por se constituir numa barreira para os sinais, ora aberta, ora fechada, os noise gate podem ser empregados numa ampla variedade de aplicações. Como vimos no capítulo 4.

Vamos pensar nos ajustes do noise gate em sua aplicação fundamental, que é a redução de ruídos.

limiar

O limiar é de importância extrema num noise gate.

Se ele é ajustado para um valor superior ao que deve, o noise gate acaba atuando “sem motivos aparentes”, e sempre em momentos pouco oportunos. O que ocorre na forma de supressão de partes reais do programa. O que é inadmissível.

Quando isso acontece num sistema de reforço, logo se percebe que há qualquer problema com o áudio. Durante gravações, artistas e oradores imaginam que alguém está esquecendo de abrir seus microfones no momento certo.

Inversamente, quando o limiar é ajustado para um valor inferior ao que deveria, o processador deixa de atuar quando mais se espera que ele o faça. Portanto, praticamente perdendo sua função mais importante.

Por essas razões, o ajuste indevido do limiar se constitui, de longe, a maior causa de reclamações dos noise gates.

O ajuste ideal fica entre esses dois extremos incorretos. De sorte a não ficar tão elevado a ponto de eliminar partes do programa, e que também, de modo a não ficar tão reduzido a ponto de permitir a passagem de sinais correspondentes a ruídos.

Podemos perceber que este ajuste é particularmente difícil, e que deve ser feito em condições reais de uso.

Para dificultar ainda mais as coisas, um ajuste perfeito num momento pode ser sofrível no momento seguinte. Especialmente em sistemas de reforço de voz e de música ao vivo.

Vou explicar isso.

O responsável pela proeza são fatores humanos, entre os quais os de natureza psicoacústica.

Se você for a qualquer lugar público, como um bar, um restaurante, ou um cinema, perceberá que o nível de ruído ambiente tende a ser tão mais elevado quanto mais lotado estiver o local.

Assim, precisamos entender que, na maioria das vezes, os noise gates são usados em ambientes sujeitos a variações de NRA. Que podem ser mais ou menos intensas, e ocorrer com maior ou menor velocidade. Geralmente de forma imprevista.

Esse quadro é exatamente o que pode comprometer o ajuste do limiar.

Imagine então o caso de um sistema de reforço equipado com um noise gate. O ajuste de seu limiar foi feito para uma condição de NRA muito elevado.

Se de uma hora para outra o NRA despenca, o processador passa a subtrair partes essenciais do programa. Todas as que estão entre o que deveria ser o novo valor de ajuste, mais baixo, e o valor realmente ajustado. O resultado é um áudio todo picotado. Insuportável.

Do mesmo modo, se o ajuste é feito para uma condição de NRA muito moderado, e de repente ele aumenta abruptamente, os ruídos que estão entre o valor de ajuste, e o que deveria ser o novo valor de ajuste, agora mais elevado, passarão sem problemas pelo processador. O resultado pode chegar a ser algo parecido com deixar o processador fora da cadeia de áudio.

Há uma saída técnica brilhante para essa dupla inconveniência, denominada limiar variável, ou limiar adaptivo. Aliás, como já vimos no capítulo 4.

Infelizmente, até o momento em que escrevia estas linhas, o recurso só era empregado nos mixers automáticos, e não nos processadores noise gate, tal como os conhecemos.

Diante disso, em espetáculos ao vivo é sempre recomendável que os limiares dos noise gates sejam retocados de quando em vez. Tanto mais quanto mais frequentes foram as variações do NRA.

Quando o processador serve a todo um sistema, como no caso do diagrama de blocos do capítulo 6, o ajuste deve ser feito em função do programa a ser tratado pelo sistema, como um todo.

Quando o processador serve a um particular canal de uma console de mixagem, o ajuste é ainda mais difícil, dependendo de como o microfone é utilizado, e de que voz ou instrumento ele está atendendo. Isto é especialmente problemático quando o microfone atende a um grupo de instrumentos diferentes, ou a um instrumento multipeças, como é o caso de uma bateria, e há um só noise gate para fazer o trabalho.

Para fazer o ajuste inicial do limiar, já em condições de trabalho, comece com um valor bem baixo. Claro que todos os ruídos que se pretende eliminar estarão passando. A seguir, vá aumentando bem vagarosamente o nível do limiar, enquanto presta atenção ao material já processado. Ao primeiro sinal de picote nos programas, reduza o nível de 3 a 5 dB. Este deverá ser um nível adequado para aquelas condições.

atenuação ou range

Num noise gate, atenuação, faixa ou profundidade, é o ajuste que possibilita atenuar em maior ou menor grau os sinais que estão abaixo do limiar.

Na maioria dos bons noise gates, a atenuação pode ser continuamente ajustada entre nenhuma atenuação e um máximo que fica no entorno de 80 a 100 dB.

Assim, se ajustamos a atenuação de um noise gate para 0 dB, o processador deixará passar livremente todos os sinais abaixo do limiar, sem impedi-los, ou sequer atenuá-los. Ou seja, para efeitos práticos, estaremos desativando a função principal do processador.

Por outro lado, se ajustamos a atenuação do processador para seu valor máximo, todos os sinais que estiverem abaixo do limiar serão muito atenuados. Na prática, impedidos de passar.

O ajuste da atenuação de um noise gate está relacionado com o ajuste de seu limiar. De

fato, se o limiar estiver ajustado para um nível muito elevado, os sinais imediatamente abaixo dele precisarão de atenuações relativamente elevadas para que não causem os problemas que o processador deve eliminar.

Inversamente, sinais inferiores a limiares muito baixos poderão ser tratados com atenuações mais moderadas.

Assim, procure seguir o princípio fundamental que rege o ajuste de atenuação em noise gates. Tanto melhor será quanto menor for a atenuação, desde que ela ainda seja capaz de eliminar os problemas causados pelos sinais de ruído na saída do processador, em sua condição de gate fechado. Veremos adiante que, atenuações muito elevadas favorecem a audição de efeitos de ruídos destes processadores.

tempo de ataque

Tempo de ataque de um noise gate é o tempo que o processador demora para abrir totalmente, a partir do momento em que, ultrapassando o limiar, o sinal informa que o estado do processador deve mudar, de fechado para aberto.

Como há uma infinidade de sons com transientes incrivelmente velozes, é preciso que os tempos de ataque dos noise gates possam ser ajustados desde valores muito curtos. Aliás, pode-se dizer que um dos fatores determinantes da qualidade desse tipo de processador é menor tempo de ataque que se pode ajustar.

Nos melhores aparelhos, o tempo de ataque é continuamente ajustável desde um valor mínimo que fica entre 2 e 10 microssegundos, até um máximo de cerca de 200 milissegundos.

Nos noise gates mais limitados, apenas se pode escolher entre dois tempos, geralmente denominados “fast” e “slow”.

Se o tempo de ataque de um noise gate é ajustado para um valor muito longo, o processador realmente poderá impedir a passagem dos sinais. Tanto mais quanto mais elevado for o limiar.

Nestas alturas, alguém já poderia questionar a conveniência do recurso do ajuste do tempo de ataque. Isto é, se corremos o risco do processador impedir a passagem de sinais, porque simplesmente não fazer com que o ataque seja sempre extremamente curto?

Como no caso dos compressores, a razão são os possíveis ruídos associados a um tempo muito rápido de mudança do estado do processador. O que se agrava em duas situações: • quando os ruídos que se quer eliminar são de intensidade elevada • quando o processador opera com chaves eletrônicas off-on, o que usualmente produz ruídos de comutação Em geral, isso nos impede de trabalhar com ataques excessivamente curtos. Digo em geral porque, a atenuação utilizada também determina o grau dos ruídos.

Imagine a seguinte hipótese. Um noise gate ajustado com ataque extremamente curto, e com atenuação muito moderada. A rigor, em função dessa particular atenuação, o noise gate permaneceria sempre praticamente aberto. E a rápida transição de mudança de seu estado, de fechado para aberto, que de fato ocorreria, não seria capaz de produzir quaisquer efeitos audíveis.

Porque já haveria considerável passagem de ruídos na condição de gate “fechado”. Entretanto, isso é cada vez menos verdadeiro à medida em que aumentamos a atenuação.

Portanto, não há sentido em se falar em ajuste de tempo de ataque de um gate sem que levemos em consideração o ajuste da atenuação.

Sons com ataques muito rápidos, como os de palmas, de bumbos, e de instrumentos de percussão, requerem ajustes de tempo de ataque entre 50 e 500 microssegundos.

Vozes como em palestras, vocais, e outros sons com ataques não tão rápidos, exigem

ajustes de tempo de ataque variando entre 1 a 15 milissegundos. Nos casos de voz, quando o tempo do ataque não é suficientemente rápido, pode-se perder total ou parcialmente os sons transientes iniciais, como parte do primeiro “t” da palavra transiente.

No caso de instrumentos musicais, os impulsos transientes produzidos por inúmeros deles, como os de percussão, serão muito prejudicados.

Ataques mais longos ficam reservados exclusivamente para a criação de efeitos.

Idealmente, o tempo de ataque ajustado coincidirá com o ataque do sinal a ser processado.

Os melhores ajustes de tempo de ataque dos noise gates correspondem a valores tão curtos quanto possível. Isso significa que os ruídos devem ser evitados ao máximo, mas sem que o processador impeça a passagem de qualquer parcela dos sinais correspondentes a programa.

hold

Tempo de hold é o tempo que o gate é forçado a permanecer totalmente aberto, a contar do instante em que o sinal cai abaixo do limiar.

Vimos anteriormente que, no caso de voz, o ajuste mais longo do tempo de hold evita que o processador mude de estado durante pausas muito curtas, seja entre palavras, seja para respiração, ou outras. A mesma coisa é aplicável a instrumentos musicais individualmente processados, e mesmo programas musicais complexos.

Para ajustar o tempo de hold, estude com paciência o programa a ser processado. Lembre-se que manter o gate aberto quando não há sinal significa apenas não utilizar os recursos do processador. Se isso tem que ocorrer por períodos muito curtos, e este é o preço a pagar para que não tenhamos um programa com picotes, parece que a fatura ainda é bem barata.

Mas a ideia central de usar o hold é evitar que o processador atue abrindo e fechando alternadamente, com possibilidade de gerar ruídos.

Usado corretivamente, o melhor ajuste de hold é aquele em que o gate fica desnecessariamente aberto pelo tempo mais curto possível, consistente com o programa em curso pelo processador.

Mas o hold também é muito utilizado para preservar os envelopes naturais dos sons.

Tipicamente os ajustes de hold variam entre cerca de 5 milissegundos a 2 segundos.

tempo de release

O tempo de release é o tempo que o processador leva para passar da condição de aberto para a de fechado. Esse tempo é contado a partir do momento em que termina o tempo de hold. E por permitir uma passagem gradual de um a outro estado, ele também ajuda a evitar ruídos, que seriam audíveis no caso de uma mudança brusca de estado do processador, por força de comutação simples, ou praticamente instantânea, como a que resulta de tempos de release muito curtos.

Nos melhores noise gates, os tempos de release podem ser continuamente ajustados na faixa aproximada de 5 milissegundos a 2 segundos.

Muitos consideram que o ajuste do tempo de release é o mais difícil entre todos os ajustes de um noise gate. E talvez pensem assim porque ele depende criticamente do tipo de material a ser processado.

Idealmente, o tempo de release do processador deve coincidir com o decay natural do material a ser processado. Quando isso é feito corretamente, o processador é rápido o suficiente para prevenir a passagem de ruídos, entretanto, sem cortar prematuramente quaisquer partes do programa.

Para instrumentos de percussão ajustamos tempos de release tipicamente muito curtos, no entorno de 50 a 150 milissegundos. Isto porque os sons produzidos por estes instrumentos possuem ataque muito rápido, com frente de onda consideravelmente elevada, e ainda, com decay muito curto.

Os tempos de release poderão ser correspondentemente mais longos para instrumentos com sustain mais pronunciado, como um piano acústico.

Para o caso de voz, o tempo de release não deve ser muito curto, ou poderemos estar removendo material que não deveríamos. Recomendo um mínimo de 300 milissegundos, sendo que alguns casos é quase que obrigatório chegar à casa dos segundos.

Quando o tempo de release é ajustado para um valor superior ao que deveria, os sons passam a ter um efeito de prolongamento indesejável.

Tempos de release inferiores aos valores apropriados modificam desagradavelmente os envelopes naturais dos sons, suprimindo-lhes parte do sustain. E o pior, muitas vezes isso se faz acompanhar pelo efeito bombeamento, já visto anteriormente no caso dos compressores.

Neste caso, ele decorre da relativamente rápida mudança no estado do processador, de aberto para fechado. De fato, isso introduz muito contraste entre as situações com ruído, existente enquanto o processador ainda está aberto, e a situação sem ruído, que prevalece quando o processador se fecha.

filtros

Alguns noise gates possuem filtros, geralmente um passa altas e um passa baixas. Entretanto, esses filtros não são destinados a alterar o programa que está sendo processado pelo aparelho. Ao invés disso, eles são alocados à cadeia lateral, como vimos no capítulo 4. Portanto, aos sinais que vão controlar a atuação do processador.

Há certos sinais de frequências de pouco interesse para a atuação dos noise gates, que frequentemente mudam seus estados, poderíamos dizer, de modo indesejável.

A ideia de utilização desses filtros é que possamos remover esses sinais, apenas da cadeia de controle, e não do programa em si. Vejamos isso com um exemplo.

Ao trabalhar com microfones captando vozes, os noise gates deveriam ser atuados pelos sinais correspondentes ao espectro de voz humana, e sua distribuição espectral, como vimos na figura 6.44 do capítulo 6.

Entretanto, uma análise espectral superficial dos NRA típicos dos ambientes em geral seria o suficiente para revelar os fortes conteúdos de baixas frequências desses ruídos. Capazes de alterar o estado de um noise gate de fechado para aberto. Se removidas essas baixas frequências, o inconveniente é eliminado.

O mesmo costuma acontecer com microfones utilizados por vocalistas, cujos noise gates podem vir a ser acionados por vazamentos provenientes da captação de outros instrumentos nas proximidades.

Os filtros passa baixas dos noise gates são ajustáveis de aproximadamente 25 Hz a 5 kHz, e os passa altas entre cerca de 100 Hz a 19 kHz.

12.2.5.5 Delayers atraso

Quando os delayers são empregados para a criação de efeitos especiais, a imaginação de cada um é o limite para as possíveis combinações de ajustes.

Mas nas aplicações em sistemas, na maioria das vezes apenas teremos que ajustar estes processadores para compensar distâncias entre falantes. Como numa torre de atraso.

O atraso de sinais é sempre função direta de uma ou mais distâncias. O cálculo se processa de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{Atraso} = \frac{d(\text{metros})}{344 \text{ m/s}} \text{ segundos}$$

12.2.5.6 Mixers Automáticos atenuação de gate

A maioria dos gates dos canais dos mixers automáticos são providos de atenuação.

O correspondente ajuste é feito de acordo com o uso específico dado a cada microfone, nos mesmos moldes que discutimos anteriormente para os noise gates.

limiar

Ao ajustar o limiar do gate de um mixer automático, antes de qualquer outra coisa devemos lembrar da aplicação do produto.

Se o limiar está bem ajustado para um dado nível de ruído ambiente (NRA), o súbito aumento deste pode fazer com que o limiar torne-se muito baixo. Por exemplo, diante de aplausos, ou mesmo quando uma voz potente é inadvertidamente dirigida para um microfone vizinho.

Esses casos podem fazer o gate do canal se abrir, evidentemente por motivos falsos.

Por outro lado, se o limiar é ajustado para valores muito elevados, uma voz pouco potente, ou até o ligeiro movimento lateral da cabeça, enquanto se fala, pode fazer com que o gate do canal seja levado para sua condição de fechado.

Essas duas situações correspondem a erros claros de lógica de equipamento, que só podem ser superados com técnicas avançadas, a exemplo do uso do limiar adaptivo, o que veremos a seguir.

Quando o mixer automático não dispõe deste recurso, ou outro equivalente, a necessidade de constantes retoques nos ajustes de limiar é quase que uma certeza.

limiar adaptivo

Sabendo que seus equipamentos podiam ser aperfeiçoados, os fabricantes não perderam tempo. E partiram para o limiar adaptivo. O termo é apenas uma outra maneira de dizer que o limiar se ajusta às variações do ruído ambiental.

O nível ideal de limiar é aquele que faz o gate do canal abrir diante da menor contribuição de programa detectável, porém significativa para a obtenção da mixagem.

A primeira técnica para se fazer isso é usando microfones sensores de ambiente.

Um ou dois destes são instalados em lugares estratégicos da sala. Os sinais deles provenientes, que são amostras instantâneas do NRA, são analisados e acabam impondo a variação do limiar de forma correspondente.

Na prática, esta técnica mostra-se um tanto ou quanto arriscada, e com certa frequência se perde o início de uma fala. Além disso, falas também podem ser cortadas antes de terminar. Por isso, melhor é utilizar uma combinação de limiar fixo com limiar variável por controle dos sensores, com o que se obtém melhor desempenho de limiar adaptivo, e resultados sônicos superiores.

A segunda técnica é a da varredura de cima para baixo.

Inicialmente, todos os canais estão na condição de atenuação máxima. A varredura inicia a partir de um nível relativamente elevado, e desce cerca de 80,0 dB em 10 milissegundos, ou menos.

Simultaneamente, o mixer compara as amplitudes dos ciclos positivos dos sinais presentes em cada canal com um nível de referência de voltagem. Assim, quando é detectado qualquer nível de voltagem mais elevado do que a referência, o correspondente canal é ligado e assim automaticamente mantido por um período de aproximadamente 200 milissegundos. A varredura é reiniciada a partir de seu valor mais elevado, do exato momento em que o gate do canal é aberto.

Com esta técnica, alguns microfones podem estar abertos ao mesmo tempo. O tempo médio que um destes mixers automáticos leva para detectar um microfone a partir do momento em que o mesmo começa a ser utilizado é da ordem de 3 a 4 milissegundos.

Há muitas outras técnicas para se obter o limiar adaptivo, como a varredura de baixo para cima e a detecção por direcionamento. Contudo, nosso objetivo aqui não é aprofundar mais nesse particular, mas apenas dar uma ideia geral de como podem ser ajustados esses recursos sofisticados dos gates dos mixers automáticos.

atenuador de saída

Como vimos, é importante utilizar a menor figura NOM possível. Mas mesmo sabendo disso, nem sempre se pode ter apenas um único microfone aberto. Por isso, alguns mixers

automáticos são providos de atenuadores de saída que respondem às variações da NOM, reduzindo 3,0 dB na saída para cada vez que a quantidade de microfones simultaneamente abertos dobra.

O que é um dos recursos que permite manter a margem antes da realimentação.

Quando estivermos lidando com um mixer automático sem este recurso, deveremos fazer as correspondentes compensações manualmente.

on/off gate

Muitos mixers permitem que cada canal seja individualmente programado para uma entre algumas condições, como normal e automático.

No modo normal o canal estará permanentemente ligado, ficando eletricamente desvinculado do gate. No modo automático o canal é controlado pelo gate.

prioridade e automatic chairman A prioridade é outra das condições para as quais se pode programar os canais de determinados mixers automáticos.

Às vezes, esta é uma alternativa adicional de programação, que se soma aos modos on gate e off gate.

Ao ser ligado, o canal programado para o modo prioridade desliga quaisquer canais programados para o modo automático naquele momento, mesmo se estiver sendo usado.

Observem que se o conjunto de todos os canais for programado inteligentemente, com este recurso é possível exercer o controle sobre a NOM, e evitar que ela atinja qualquer limite julgado intolerável.

Alguns fabricantes denominam este recurso “automatic chairman”.

override

O recurso override é aquele que permite que um só microfone, especialmente escolhido e programado para isso, interrompa todos os demais, independentemente de programações.

filibuster

O recurso filibuster permite que se determine um limite superior para a NOM, além do qual nenhum canal poderá mais ser ligado. O correspondente ajuste deve ser feito com bom senso.

O velho ditado já nos diz, quando um burro fala o outro abaixa a orelha. Tradução: quando uma pessoa fala, todas as outras devem prestar atenção.

Quando duas ou mais pessoas falam ao mesmo tempo, ninguém entende nada. Por isso, idealmente devemos fixar $NOM = 1$.

Entretanto, há casos em que devemos deixar ao menos dois, e as vezes até três microfones abertos.

tempo de ataque

O tempo de ataque de um gate de um mixer automático se faz como para um noise gate convencional. Apenas lembrando que, no caso dos mixers automáticos, o uso principal dos microfones é sempre voz. E os ajustes deverão ser feitos para tempos não superiores a 15 milissegundos.

Alguns mixers automáticos não oferecem a possibilidade de se ajustar o tempo de ataque, pois ele é automaticamente determinado pelo aparelho. Nestes casos, os processadores são capazes de abrir totalmente o gate num tempo não superior a 3 ou 4 milissegundos, no máximo, a contar do instante em que o microfone começa a ser utilizado.

Alguns mixers automáticos têm a possibilidade de se processar o sinal com uma expansão de 2:1 durante a transição de atenuado para gate aberto. Com isso, o ataque do próprio sinal passa a exercer um certo controle sobre o ataque do gate, o que torna a transição mais suave.

tempo de release

O tempo de release de um gate de mixer automático também se faz como para um gate convencional.

Entretanto, agora é absolutamente importante lembrar que estamos lidando quase que invariavelmente com voz.

O que exige ajustes de tempos de release não inferiores a 300 milissegundos.

Quando o tempo de release não é ajustável, seu valor está tipicamente entre 200 e 300 milissegundos.

12.3 ALINHAMENTO MECÂNICO

12.3.1 Alinhamento Direcional dos Falantes Disse antes que muitos profissionais preferem começar o alinhamento do sistema com o alinhamento mecânico. Quando é assim, geralmente a primeira coisa a ser feita é o alinhamento direcional dos falantes.

Ainda na etapa de dimensionamento, o projetista trabalha com informações das áreas que deveriam ser atendidas. E assim seleciona falantes capazes de cobri-las acusticamente, de modo que sejam obtidos os campos acústicos mais homogêneos que as condições permitam.

Nessas escolhas, os projetistas lidam com as relações de diretividade dos falantes, ou de grupos deles, procurando evitar que a energia disponível seja desperdiçada em áreas que não devem ser atendidas.

Não só para economizar potência elétrica, que seria um objetivo secundário, mas para evitar o aumento do campo reverberante. Com o intuito de controlar a relação campo direto/campo reverberante, de modo a maximizá-la, e assim obter a melhor inteligibilidade possível.

Agora é o momento de jogarmos como uma equipe unida e coesa.

Antes de darmos início ao alinhamento, devemos entender muito bem o que o projetista quer. E nossa tarefa é obter na prática o que ele imaginou e calculou, e provavelmente simulou.

Alinhar direcionalmente os falantes é ajustar seus eixos principais, ou de simetria. Eles devem ser apontados nas direções corretas nos planos horizontal (ajuste de azimuth) e vertical (ajuste de zênite).

Muitas vezes também é preciso ajustar o “tilt”, que é a rotação do falante em torno de seu próprio eixo. É claro que isso não tem qualquer sentido para falantes de radiação frontal, com cones circulares, mas pode ter para cornetas, e para grupos de falantes da mesma espécie, de cone ou não, ou ainda, para clusters em geral.

Ajustar eixos pressupõe que o projetista tenha previsto alguma forma de possibilitar a

movimentação horizontal, vertical e de tilt dos falantes.

Se o projeto não for suficiente detalhado a ponto de chegar a essa minúcia, as formas de movimentação para ajuste dos falantes deverão ser planejadas, desenvolvidas e implementadas durante os serviços de instalação.

Os meios mais fáceis de obter esses movimentos são com cabos de aço, que praticamente permitem direcionar qualquer falante para qualquer direção, e com sistemas mecânicos de basculação, providos de dispositivos com dobradiças. Idealmente, qualquer das formas deverá possibilitar o “ajuste fino” dos falantes e grupos deles.

Esta é outra coisa que pode ser facilmente obtida com os cabos de aço, que podem incluir um ou mais esticadores em cada via de suporte.

Para sistemas mais complexos de falantes, esse alinhamento é sempre um processo interativo. Por exemplo, se foi projetado um grupo de quatro cornetas empilhadas para aumento da relação de diretividade do conjunto, há duas opções.

Uma delas é fazer o alinhamento de todo o grupo, mas considerá-lo como um pré alinhamento, para então fazer o alinhamento de sinais, como discutido a seguir, e voltar a realinhar direcionalmente o conjunto. Isso porque, como veremos, sem o alinhamento de sinais, os clusters apresentam resultados que ainda não podem ser considerados definitivos.

A outra alternativa é trabalhar com apenas uma das cornetas da pilha, sabendo que a cobertura vertical desta é bem maior do que o desejado, e do que a própria pilha apresentará.

Então, o procedimento é o de procurar simetrias de cobertura, distribuindo erros que tenderão a desaparecer quando o cluster estiver funcionando como um todo. Achada a simetria, faz-se o alinhamento de sinais, e repete-se o alinhamento direcional.

A maneira mais prática de fazer o alinhamento é ajustar o direcionamento enquanto se tomam medidas com um medidor de nível de pressão sonora, e também, com um analisador de espectro de tempo real.

As medições vão orientando o correto posicionamento. Que uma vez obtido, deve ser mecanicamente travado para evitar que movimentos de acomodação natural e vibrações em geral desfaçam o trabalho.

Os ajustes iniciais podem ser feitos com a ajuda de compassos próprios para essa finalidade. Que são apenas instrumentos grandes, de construção bastante fácil.

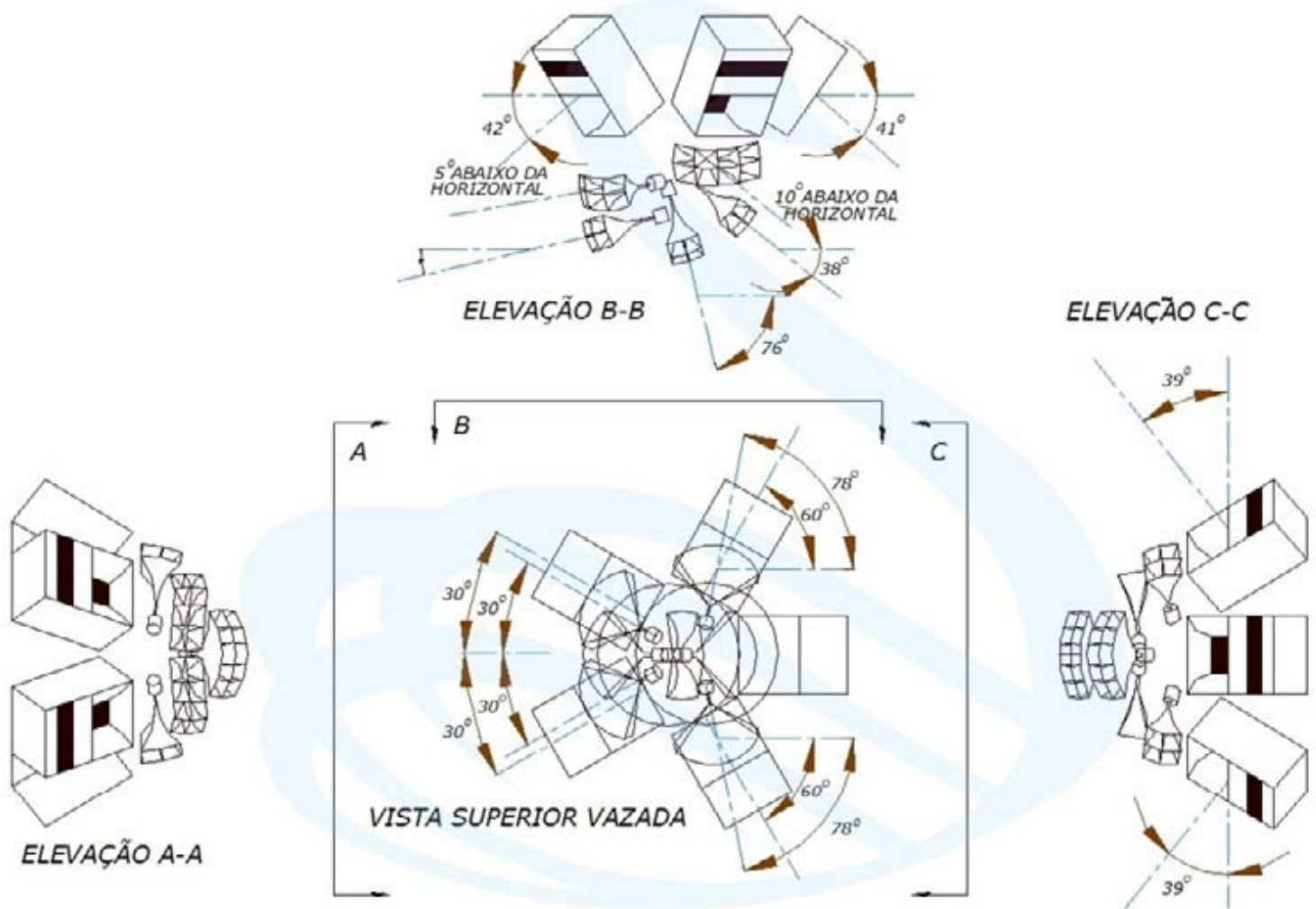


figura 12.28 desenho de projeto mostrando os ângulos de azimute e de zênite para o alinhamento de um grupo de falantes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A título de ilustração, a figura 12.28 mostra um desenho de projeto com as informações dos ajustes de azimute e de zênite de um grupo de falantes.

12.3.2 Alinhamento de Sinais nos Falantes Observe as duas caixas acústicas da figura 12.29. Ambas são de três vias, com um woofer, um midrange e um tweeter. Os traços verticais representam linhas que passam pelos centros acústicos dos falantes.

Na caixa superior os centros acústicos estão na mesma vertical, e na inferior não.

Em condições normais, o indivíduo que está ouvindo a primeira caixa vai receber os sinais de todos os falantes ao mesmo tempo. No segundo caso, ele ouvirá primeiro o tweeter, depois o midrange, e por último o woofer.

A primeira caixa está com os sinais alinhados no tempo. A segunda não.

Em geral, esses desalinhamentos correspondem a distâncias muito pequenas.

Portanto, produzindo atrasos correspondentemente pequenos. Infelizmente, embora tais desvios possam parecer insignificantes, seus efeitos audíveis podem ser gigantescos.

Hoje em dia, o alinhamento de sinais nos falantes não é mais considerado como exagero ou excesso de cuidado, mas como uma medida absolutamente necessária, e acima de tudo, crítica.

Provavelmente mais importante do que o alinhamento da frequência de transição entre os falantes que trabalham com segmentos diferentes do espectro. Preciso dizer mais?

O engenheiro de áudio se defronta com um sem números de situações de caixas acústicas, cada qual com suas próprias singularidades.

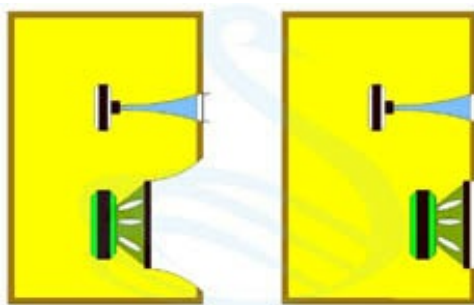


figura 12.29 caixa acústica com sinais alinhados no tempo, e outra com eles desalinhados acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Só para mencionar alguns casos, encontramos caixas acústicas equipadas exclusivamente com falantes de radiação frontal, com cones, outras com estes falantes e pilhas de cornetas assistidas por drivers de compressão, outras com isso e mais supertweeters, sistemas com subwoofers separados, caixas trapezoidais de radiação totalmente frontal, mas que podem ser agrupadas em forma de leque, outras com baixas frequências cornetadas, caixas tipo cornetas coaxiais, casos de conjuntos de caixas acústicas formadas por grupos que correspondem a “pacotes” fabricados em série, tanto de boa quanto de má qualidade, e muitos casos de sistemas inusitados de caixas projetados por consultores.

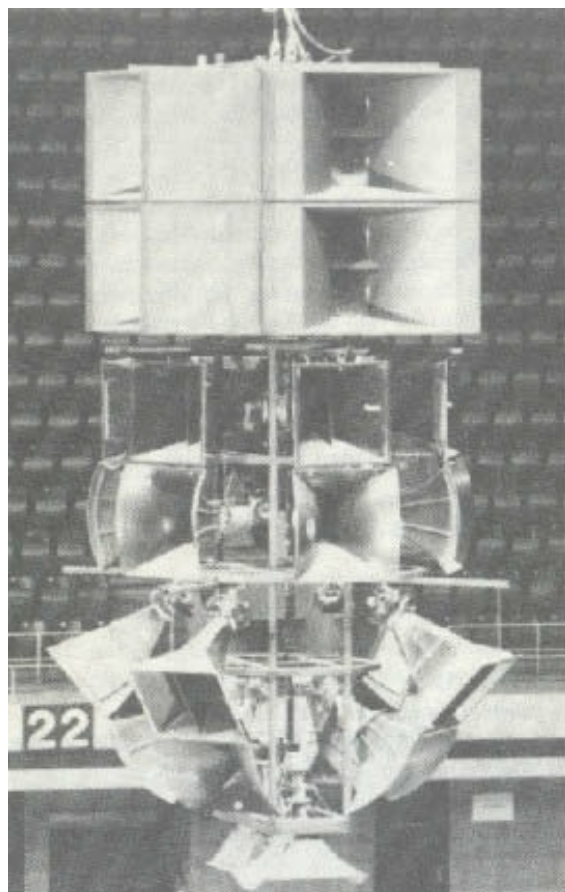


figura 12.30 cluster instalado no Iowa Center, em Ames, Iowa Cortesia Jake Ewalt Esses casos de projetos customizados não são levados à frente por diletantismo, mas porque os demais sistemas não preenchem os requisitos desejados para uma dada aplicação, a exemplo de necessidades de relação de diretividade muito elevada, ou de ângulos de cobertura excepcionalmente elevados, ou altíssimos níveis de potência elétrica, ou combinações dessas coisas.

Creio que a figura 12.30 ilustra bem esse aspecto.

Desse modo, o problema apenas ilustrado na figura pode assumir grandes proporções no dia a dia dos casos reais do áudio profissional.

A necessidade de alinhamento que representa um desafio, e que certamente é um dos mais

críticos, é o caso de falantes idênticos ou semelhantes que respondem aos mesmos segmentos de frequências no espectro, e compartilham ao menos de uma parte da mesma área de cobertura. O pior caso possível é o de dois ou mais falantes operando no mesmo segmento, com os mesmos níveis de energia, e com atrasos entre si.

Muitos engenheiros e técnicos com os quais conversei me dizem que as distâncias correspondentes a diferenças de localização dos centros acústicos são muito pequenas, e portanto, os atrasos são correspondentemente pequenos.

Se fizermos as contas, para uma distância de 0,5 metro, vamos verificar que o atraso é inferior a 1,5 milissegundo. Portanto, pequeno, como dizem.

Entretanto, vários workshops e cursos especializados que se realizam nos Estados Unidos têm mostrado com muita contundência que sinais processados pelo mesmo alto-falante, com atraso relativo de apenas 30 microssegundos são claramente perceptíveis.

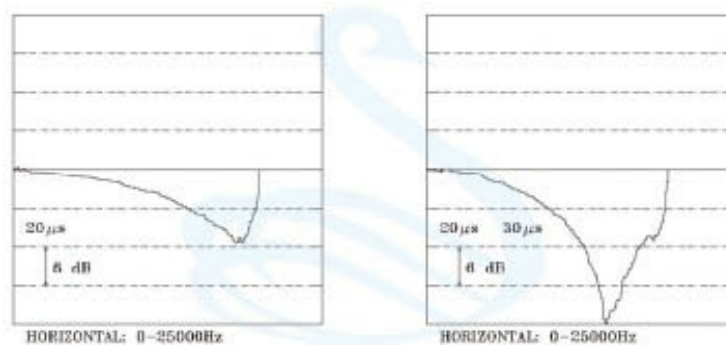


figura 12.31 resposta de frequência de um falante para um único sinal, e para 2 sinais com atrasos de 20 e de 30 microssegundos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O porquê disso é ilustrado na figura 12.31, que mostra as respostas de frequência de dois falantes idênticos reproduzindo o mesmo sinal.

No caso da figura do lado esquerdo, um dos falantes recebe os sinais de teste com atraso de 20 microssegundos. E no caso da figura do lado direito, o atraso foi aumentado para 30 microssegundos.

O mesmo efeito que nos mostra esse gráfico do lado direito da figura ocorreria se tivéssemos dois falantes reproduzindo o mesmo sinal, mas com um desalinhamento físico equivalente aos 30 microssegundos, isto é, cerca de 10,5 mm!

Prestem atenção nisso. Relacionem as respostas da figura com a ordem de grandeza desses desalinhamentos.

Com cornetas acústicas a coisa também é muito séria. Porque os comprimentos de onda já são mais curtos. E eventuais desalinhamentos poderão implicar em significativas alterações na resposta de frequência do sistema. Como por exemplo, por efeito de cancelamentos.

Assim, se os desalinhamentos dos centros acústicos não podem ser evitados, devemos ter certeza de que não serão eles os responsáveis por pequenos segmentos do espectro com resposta nula.

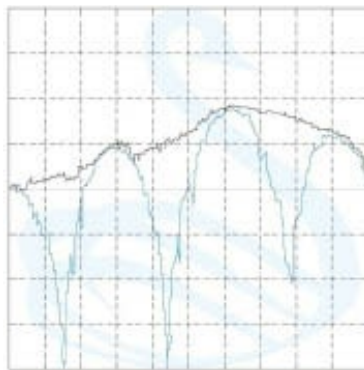


figura 12.32 gráficos EFC para dois falantes alinhados, e com desalinhamento de 170 microssegundos
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 12.32 nos mostra dois gráficos EFC (Curva Energia-Frequência) superpostos, de duas situações.

Na curva superior os dois falantes estão alinhados. A curva é típica para sinais coerentes, provenientes de falantes alinhados. Na outra, o desalinhamento intencional é de 5,8 cm, ou 170 microssegundos. Observem então o efeito de filtragem pente, muito pronunciado, criando respostas praticamente nulas em vários pontos.

Pretender corrigir tais irregularidades com equalização só se justifica por absoluta falta de experiência. O que devemos fazer é alinhar mecanicamente os falantes envolvidos. O primeiro passo é analisar a disposição prevista em projeto, independentemente de quem o assina. Muitas vezes o alinhamento pode não ser possível simplesmente porque os falantes estão posicionados de modo a inviabilizar qualquer tentativa.

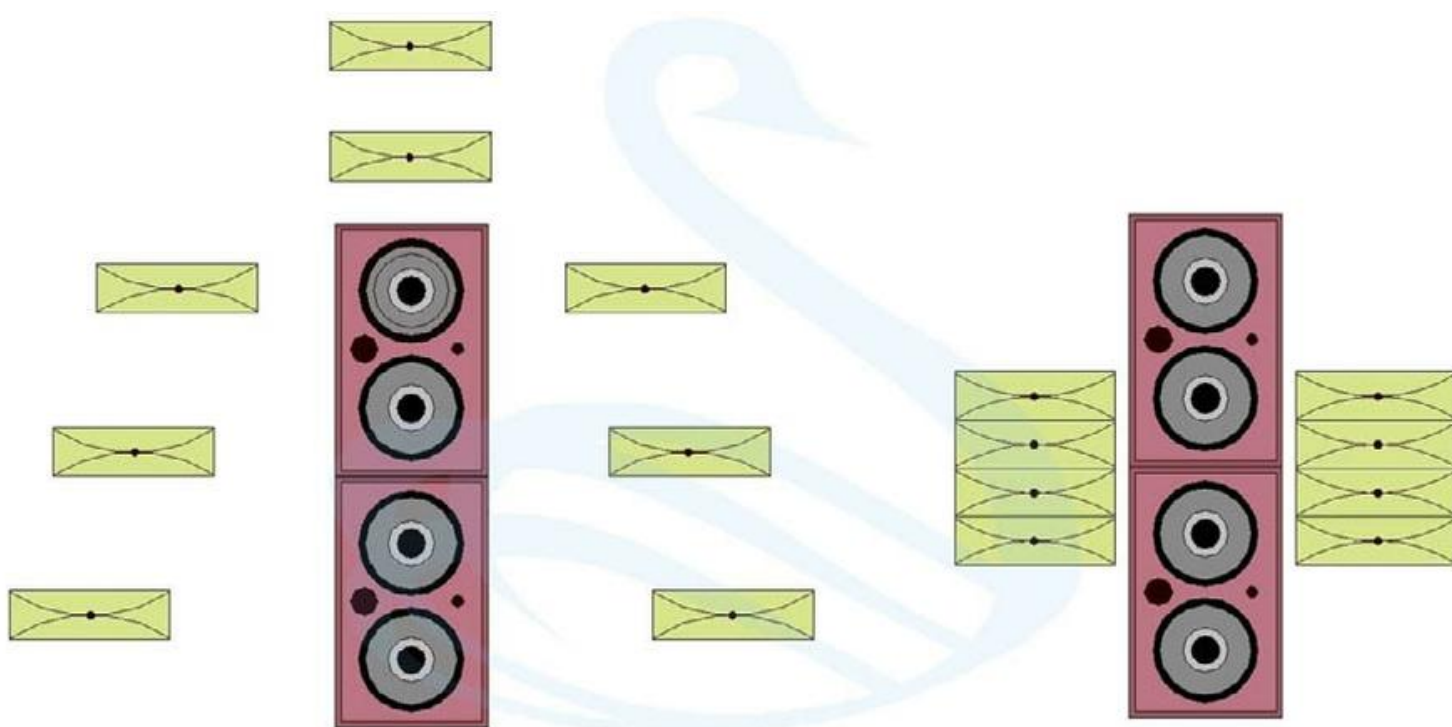


figura 12.33 arranjos de falantes. O da esquerda sem muitas chances de ser alinhado. O da direita, uma modificação capaz de permitir o alinhamento acústico aceitável
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vejam a figura 12.33. Ela nos mostra dois arranjos. O da esquerda, para o qual provavelmente não haverá solução. Os sintomas prováveis são o aparente baixo ganho acústico, a inteligibilidade muito reduzida, e campos acústicos nada homogêneos.

O arranjo da direita é uma alteração do caso anterior, com o objetivo de permitir que o alinhamento de sinais possa ter prosseguimento.

Há duas maneiras de fazermos o alinhamento de sinais nos falantes.

Com e sem um analisador TEF.

Com este instrumento, basta gerarmos sinal no cluster a alinhar, e procurar as posições de alinhamento em função das leituras ETC e EFC.

Para arranjos muito complexos, com grande quantidade de falantes, uma boa técnica é excitar inicialmente apenas um grupo de falantes do cluster, e alinhá-los. Repetimos o alinhamento para um segundo grupo, e então alinhamos os grupos entre si. E vamos seguindo com grupos sucessivos até o final.

Esta forma de alinhamento é muito rápida, segura, eficiente e de precisão cirúrgica.

Sem o analisador TEF as coisas são bem mais difíceis.

A começar pela necessidade de identificação dos centros acústicos. Se estamos lidando com falantes do mesmo fabricante e de mesmo modelo, ainda que não saibamos os centros acústicos, podemos admitir que todos os centros acústicos estejam igualmente posicionados em relação aos falantes. Assim, pequenas marcações nos falantes já ajudarão bastante a obter um alinhamento preciso.

Ao invés de fazermos as leituras na tela do analisador TEF, devemos usar um analisador de espectro em tempo real.

O que não é a mesma coisa, porque com o analisador TEF podemos ler apenas os campos diretos, que é o que nos interessa.

E com os RTA estaremos lendo os campos direto mais reverberante. Com mascaramentos inevitáveis, e que praticamente não podem ser removidos das leituras.

Mas ainda há uma forma de minimizar o inconveniente. É fazer a leitura em ponto não muito afastado dos falantes, de modo a aumentar a relação campo direto/campo reverberante. Por outro lado, também não é muito prudente que o ponto de leitura fique muito próximo dos falantes, porque assim é relativamente fácil cometer erros de paralaxe acústica, que acabariam embutidos nos resultados medidos.

Concluído o alinhamento de sinais, repete-se o alinhamento direcional. Como disse antes, o processo é iterativo. E ficamos repetindo sequencialmente os alinhamentos de sinais e de direcionamento até que tenhamos segurança de que os resultados obtidos dispensam retoques.

12.4 CEPSTRUM

Este tópico foi incluído com o propósito específico de oferecer uma base técnica relativamente sólida para todos aqueles que apreciam entrar um pouco mais nos detalhes dos programas disponibilizados para áudio.

Como adiante vamos abordar alguns desses programas, no caso mais os que são orientados para o alinhamento de sistemas, creio que este material pode ser de grande valia não só para o

entendimento além do superficial daqueles programas, mas até mesmo para a compreensão de como alguns princípios mais simples podem ser capitalizados para amparar programas mais complexos.

No capítulo 6 discutimos a Fala Humana e Princípios de Fonética. Naquela oportunidade abordamos alguns detalhes do trato vocal e da modulação da fala. Neste ponto quero pedir a você o favor de retroceder um pouco a leitura até o capítulo 6 e procurar a figura 6.46.

Ela mostra detalhes da anatomia do aparelho fonador. Tente memorizar a figura e as partes que ela destaca.

Tenha em mente que o ar chegando dos brônquios passa pelas cordas vocais que podem ou não vibrar. Seja lá como for, esse é o ponto aproximado onde os sons vocalizados são gerados.

Daí até chegar à boca de um ser humano adulto esses sons percorrem cerca de 17 centímetros. Portanto, esse é o comprimento médio aproximado do trato vocal de um ser humano adulto. É nesse percurso que os sons sofrem modulações. Como as impostas pela língua, pelo palato, pelos dentes, pelas maxilas e pelos lábios. Isso porque o trato vocal se comporta como um complexo sistema acústico ressonante.

Todos os sons da fala e do canto humano têm essa mesma assinatura. São sons originados na glote que, em sua viagem até a boca, percorrem o trajeto mencionado do organismo humano onde sofrem modulações impostas por obstáculos naturais e dinâmicos. Pessoalmente prefiro usar o termo “os sons originais são condicionados” pelos obstáculos.

Tudo bem?

Quero observar que essa maneira característica de produzir sons é em tudo semelhante ao que ocorre com instrumentos musicais. Pense por exemplo num saxofone. Ou num trombone. Quem sabe num trompete. Não importa.

Como na fala humana, os sons são gerados na extremidade fechada do instrumento. Mais especificamente, na palheta do sax ou nos bocais do trombone e do trompete. A seguir esses sons seguem um certo itinerário até atingir as respectivas campânulas. Como no caso da voz esses sons são submetidos a uma série de modulações impostas propositadamente pelo instrumentista que visa produzir sua música com o caráter próprio desejado. Para isso o artista se vale de válvulas, de pistões e de outros artifícios para alterar os trajetos, além de outros recursos, tudo para variar as frequências de ressonância. Novamente minha preferência é pelo termo “os sons originais são condicionados” por obstáculos.

Vejamos o que ocorre num piano. Os sons são gerados nas notas, que são percutidas pelos martelos revestidos com feltros. A seguir, os sons são condicionados pelo tampo harmônico, assumindo sua sonoridade própria e singular. Já nos violões e instrumentos das famílias das cordas os sons gerados pelas cordas beliscadas ou friccionadas são condicionados pelo

volume, formato, material e processo usado na fabricação manual do corpo do instrumento.

Nos tambores, os sons são produzidos quando as baquetas ou mãos encontram as peles dos instrumentos. Esses sons originais são então condicionados pela caixa de ressonância dos instrumentos, formadas pelos fustes e eventualmente por uma segunda pele.

Creio que posso parar por aqui pois sei que você já sentiu que é possível continuar quase que indefinidamente com esses argumentos de mesma natureza. Certo?

Portanto, a formação dos sons aparenta ser uma arquitetura comum e muito encontrada na produção corriqueira da fala humana e das notas musicais, além de várias outras formações sonoras que ocorrem no mundo real.

Senão, vejamos.

Pense numa orquestra se apresentando numa sala de concertos. Os sons originais são produzidos pela orquestra em seu local de trabalho. Por exemplo, no palco. Entretanto, daí até chegar aos ouvidos dos espectadores esses sons primários acabam sendo “condicionados” pela acústica da sala. Que, em última análise é apenas a introdução de modulações sobre os envelopes sonoros originais, acompanhada de atenuações e reforços decorrentes da interação das ondas. Também aqui, que é um panorama essencialmente acústico, prefiro o termo “os sons originais são condicionados” pela sala.

Se você ponderar bem, concluirá que essa mesma forma de produzir sons, ou seja, de alterar os sons originais via manipulação de “moduladores” ou “filtros”, que lhes modificam a estrutura e a natureza sônica, também ocorre em concertos de rock. Assim como nos desfiles carnavalescos. E também nas conversas telefônicas. Ou mesmo nas conversas olho no olho. E, naturalmente, nas mensagens amplificadas oferecidas nas arenas esportivas, nos aeroportos e outros locais públicos. Assim como em avisos feitos em aeronaves em voo. Ou quando ouvimos rádio ou áudio de televisão. Creio que posso arriscar dizer que esse condicionamento aural ocorre em praticamente todas as formas de comunicação empregando sons. Tanto no âmbito da música quanto no de voz.

É certo que até aqui falamos de entidades acústicas. Nada que use válvulas, transistores, circuitos integrados a quaisquer títulos e, menos ainda, software.

Mas vamos considerar agora um aparelho eletrônico. Qualquer um deles. Sequer precisamos definir que tipo de aparelho estamos falando.

O fato é que o sinal em sua entrada acaba sendo obtido na saída após ter sido modificado por parâmetros internos do aparelho. Ou ele amplifica, ou introduz filtros, ou gateia, ou comprime ou combina duas ou mais dessas funções, *etc.* E se não fizer nada disso certamente introduzirá sua marca registrada na forma da imposição inexorável de distorções, de ruídos e de alterações de várias naturezas. Mais uma vez, condicionando os sons da entrada.

O que nos leva ao ponto chave dessas linhas. O sinal de entrada acaba sendo “modulado” pelas características do produto. Quer sejam essas características controláveis ou não pelo ser humano.

Portanto, quer no universo desplugado, quer no universo eletrônico, tradicional ou digital, essas coisas ocorrem de acordo com a mesma estrutura anatômica. Os sons ou sinais originais acabam sendo “condicionados” pelo meio através do qual viajam. Situação essa representada pelo desenho da figura 1.



figura 12.34 condicionamento de sons primários pela acústica do local onde eles são produzidos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Permita-me chamar os sons originais de entrada de “e” e o condicionamento de “c” para obter os sinais “s” na saída. É nesse momento exato que resumo, portanto, que em sistemas lineares, como os que estivemos discutindo até aqui, os sinais de saída “s” são sempre uma função do sinal de entrada “e” e do condicionamento “c”.

Pois bem, essa interação entre os sinais de entrada e as características de condicionamento são descritas por uma operação matemática denominada convolução. Ou seja, os sinais de saída são os sinais de entrada “convolvidos” pela “resposta de impulso” do ambiente físico que produz o condicionamento nos sinais de entrada. Você já começa a perceber que o termo “convolvido” tem um significado próximo do termo “condicionado”. Apenas que a convolução é um termo científico já que é parte de todo um aparato matemático que dá suporte a uma extensa teoria.

O que importa dizer agora é que a transformada de Fourier converte a convolução numa simples multiplicação.

Esta é a principal razão pela qual a análise espectral é tão usada em medições de áudio. Ou seja, o espectro da saída de um dispositivo é simplesmente o espectro do sinal de entrada multiplicado pela resposta de frequência do próprio dispositivo. Ora, a transformada de Fourier é, atualmente, algo absolutamente simples de implementar desde que se tenha em mãos um analisador FFT. Posso refazer a figura 1 para chegar na figura 2, usando os nomes que dei aos sinais.



figura 12.35 a anatomia da convolução acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Então posso escrever

$$s[n] = e[n] * c[n]$$

Essa é a forma como a convolução é empregada nos DSPs. Na linguagem matemática a

convolução é expressa com a estrela (*), sendo que $c[n]$ representa a resposta de impulso.

Tenho certeza que a estas alturas do campeonato muita gente estará se perguntando: tudo isso é muito legal, mas para que serve?

Começo lembrando que as características do sistema linear são totalmente especificadas por sua resposta de impulso. O que é governado pela matemática da convolução. Por sinal, eis aí os fundamentos mais importantes das técnicas modernas de processamento de sinais. Isso significa que filtros digitais podem ser facilmente implementados desde que tenhamos as respostas de impulso apropriadas. Mas se você quer saber para o que serve, deixe-me dar um exemplo paradigmático. Os caças inimigos podem ser detectados pelo radar com incrível facilidade através da análise das respostas de impulso previamente mensuradas.

Mas vou além. Se você já participou de teleconferências e/ou de videoconferências sabe que o eco pode ser um tremendo problema. Porque o sinal enviado da ponta A para a ponta B é amplificado e os microfones da ponta B que o captam e o reinjetam no sistema. De sorte que esse mesmo sinal retorna para a ponta A um certo tempo depois, produzindo o eco. Pois bem, atualmente isso pode ser eliminado com uma certa facilidade porque é possível criar respostas de impulso que cancelam os componentes da “reverberação” atrasada. É mera questão de chegar a um algoritmo relativamente simples.

Pois bem, chegamos ao ponto em que tenho que mencionar a deconvolução. Tenho certeza que você já sacou que deconvolução é processo matemático empregado para desfazer os efeitos da convolução. Idealmente, se $e[n] * c[n] = s[n]$ sendo $e[n]$ é o sinal de interesse e sua convolução, com $c[n]$ representando o condicionamento levado a efeito pelo trato vocal, então o que queremos é restaurar $e[n]$ a partir de $s[n]$.

Podemos obter isso invertendo o processo de convolução mediante uma série de técnicas, sendo a principal a utilização de filtragem invertida. Ocorre que há uma desvantagem prática de muito peso nesse processo. É que os ruídos são drasticamente amplificados.

Outra estratégia para fazer a deconvolução envolve a separação direta dos componentes $e[n]$ e $c[n]$ a partir de $s[n]$, usando os domínios do processamento do cepstrum.

Se você ainda não tinha ouvido esse termo nem lido sobre ele, não se assuste.

Um artigo técnico datado 1963 assinado por B. P. Bogert, M. J. R. Healey e J. W. Tukey definiu cepstrum como sendo “o espectro de potência do logaritmo do espectro de potência”.

Por ser espectro de espectro os autores julgaram conveniente usar a notação “cepstrum”. Anagrama de spectrum, pois as quatro primeiras letras “spec” de spectrum são escritas do fim para o começo.

O termo cepstrum pode ser pronunciado começando como “cevada” ou começando como “querer”. A primeira forma é melhor porque existe uma outra entidade denominada kepsrum e

pronunciada como “querer”. Trata-se da equação de Kolmogorov relacionada com a resposta no tempo de uma série de potências.

Assim, ficamos livres de eventuais mal entendidos.

O texto original do trabalho de B. P. Bogert, M. J. R. Healey e J. W. Tukey de 1963 mostra um caminho heurístico que visa detectar sinais correspondentes a ecos sísmicos. Essa foi a motivação de partida dos autores.

Imagine então um primeiro sinal correspondente a um tremor de terra. Vamos chama-lo $x(t)$. Imagine também que a esse sinal se soma uma versão clonada do mesmo, mas ligeiramente atrasada no tempo e um pouco menos intensa.

Então podemos escrever:

$$y(t) = x(t) + ax(t-\tau)$$

A transformada de Fourier desse sinal é

$$Y(f) = X(f) + aX(f)e^{i2\pi f\tau}$$

O espectro de potência do mesmo sinal é

$$Y(f)^2 = X(f)^2 (1 + 2a\cos 2\pi f\tau)$$

Considerando que $a < 1$ e que

$$\log(1+x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n}$$

então o log do espectro de potência pode ser expresso aproximadamente como

$$2 \log Y(f) = 2 \log X(f) + 2a\cos 2\pi f\tau$$

Fica claro, portanto, que o eco sísmico acaba se manifestando como uma ondulação no log do espectro. O que justifica plenamente o uso da transformada de Fourier para analisar essa ondulação.

O cepstrum original não era reversível. Nem mesmo para o logaritmo do espectro. Por essa razão, embora o termo “lifter” tenha sido empregado com o sentido de filtragem do cepstrum, o que acabou prevalecendo mesmo foi um filtro convolutivo aplicado ao espectro ao invés de uma janela no cepstrum.

Já que falamos de cepstrum e de lifter (anagrama de filter através da inversão das três primeiras letras), vamos mencionar a quefrequency, anagrama de frequency. Quefrequency é a variável independente do cepstrum. Ora, veja lá! Essa variável é tempo. Contudo, ela costuma ser interpretada como frequência uma vez que o log do espectro é tratado como forma de onda. Portanto, quefrequency é o eixo horizontal do cepstrum, graduado em unidades de período de tempo.

Permita-me tentar esclarecer esse ponto.

Se a taxa de amostragem de um sinal é 44.100 Hz e constatamos um pico no cepstrum com quefrequency de 100 amostras, esse pico nos informa a presença de uma altura de $44.100 / 100 = 441$ Hz. O pico ocorre no cepstrum porque as harmônicas do espectro são periódicas e o período corresponde à altura. É por essa razão que não se pode usar uma onda sinusoidal na análise de cepstrum. Até porque a determinação da altura a partir da quefrequency não pode ser desenvolvida já que, por definição, ondas sinusoidais não possuem harmônicas.

Da mesma forma, rahmonic é anagrama de harmonic, sendo que rahmonics são componentes cepstrais igualmente espaçados entre si em termos de incremento de tempo.

Gamnitudo é anagrama de magnitude, saphe é anagrama de phase, lifter, como vimos, é anagrama de filter, shortpass é paráfrase de high pass assim como longpass é paráfrase de low pass e mundaental é anagrama de fundamental.

Todos esses termos foram propostos por B. P. Bogert, M. J. R. Healey e J. W. Tukey como uma espécie de diferenciação pelo fato de que essas operações pertencem ao domínio do cepstrum.

Permita-me voltar à voz humana que, como vimos antes, pode ser modelada como

$$s[n] = e[n] * c[n] \text{ (convolução no domínio do tempo)}$$

sendo

- $e[n]$ os sinais provenientes das cordas vocais, e
 - $c[n]$ a modulação imposta pelo trato vocal
- Para 21°C teríamos 344 metros/segundo.

aplicando a transformada de Fourier na expressão acima, temos

$$S(e^{i\omega}) = E(e^{i\omega}) C(e^{i\omega}) \text{ (multiplicação no domínio das frequências)}$$

podemos agora tomar o log da magnitude para obter

$$\log \{|S(e^{i\omega})|\} = \log \{|E(e^{i\omega})|\} + \log \{|C(e^{i\omega})|\}$$

Pronto. Note que agora os sons produzidos pelas cordas vocais e o condicionamento imposto pelo trato vocal estão nitidamente separados.

Podemos retornar para o domínio do tempo aplicando a transformada inversa de Fourier, o que nos leva a

$$s[n] = e[n] + c[n]$$

Agora fica fácil perceber porque todo esse aparato se mostrou apropriado para a análise da voz humana. Como, por exemplo, para determinar a altura de voz de sons vocálicos. Ou seja, aqueles originalmente produzidos pelas cordas vocais.

A definição original de cespstrum formulada por B. P. Bogert, M. J. R. Healey e J. W. Tukey:

$$C_c(\tau) = |\mathcal{F}\{\log[F_{xx}(f)]\}|^2$$

Sendo que o termo F_{xx} representava espectro de potência.

Muitos textos sérios defendem que o cepstrum não utiliza a transformada de Fourier como acima, mas sim a transformada inversa de Fourier. Isso é bem verdade. Mas não para o cepstrum original, chamado cepstrum de potência.

Sim, porque lá pelas tantas dois pioneiros que estudaram muito a análise cepstral, os senhores Oppenheim e Schafer, publicaram um artigo técnico ampliando a aplicação da análise cepstral para a voz humana, para as comunicações e para a geofísica. Foi quando introduziram o conceito de “sistemas homomórficos”, nos quais relações não lineares podem ser convertidas em lineares de sorte a permitir processamento como filtragem linear no domínio da transformada. Exemplos muito característicos são a conversão de multiplicação em soma por

aplicação de logaritmos e a conversão de convolução aplicando-se inicialmente a transformada de Fourier para converter a convolução em multiplicação seguida da conversão por logaritmo. O passo final era aplicar a transformada inversa de Fourier ao logaritmo do espectro para obter um novo gênero de cepstrum. Então, denominado cepstrum complexo.

Portanto, o cepstrum complexo é definido como sendo a transformada inversa de Fourier aplicada ao logaritmo complexo do espectro complexo. O que, agora, é perfeitamente reversível para o domínio do tempo.

O cepstrum complexo pode ser escrito

$$C_c = \mathcal{F}^{-1}\{\log[F(f)]\} = \mathcal{F}^{-1}\{\ln[A(f)] + j\phi(f)\}$$

sendo

$$F(f) = \mathcal{F}\{F(t)\} = A(f)e^{j\phi(f)}$$

Como a função autocorrelação também é espectro de espectro, a diferença entre ela e o cepstrum é que este último é a conversão do espectro por meio de logaritmo.

A figura 12.36 foi elaborada para ser uma espécie de resumo gráfico de toda a argumentação discutida acima.

O gráfico A mostra um sinal de voz com duração total de 50 milissegundos. Ele corresponde à vogal “a”, utilizando janela de Hamming. Pode-se perceber que o período é de aproximadamente 12,5 milissegundos.

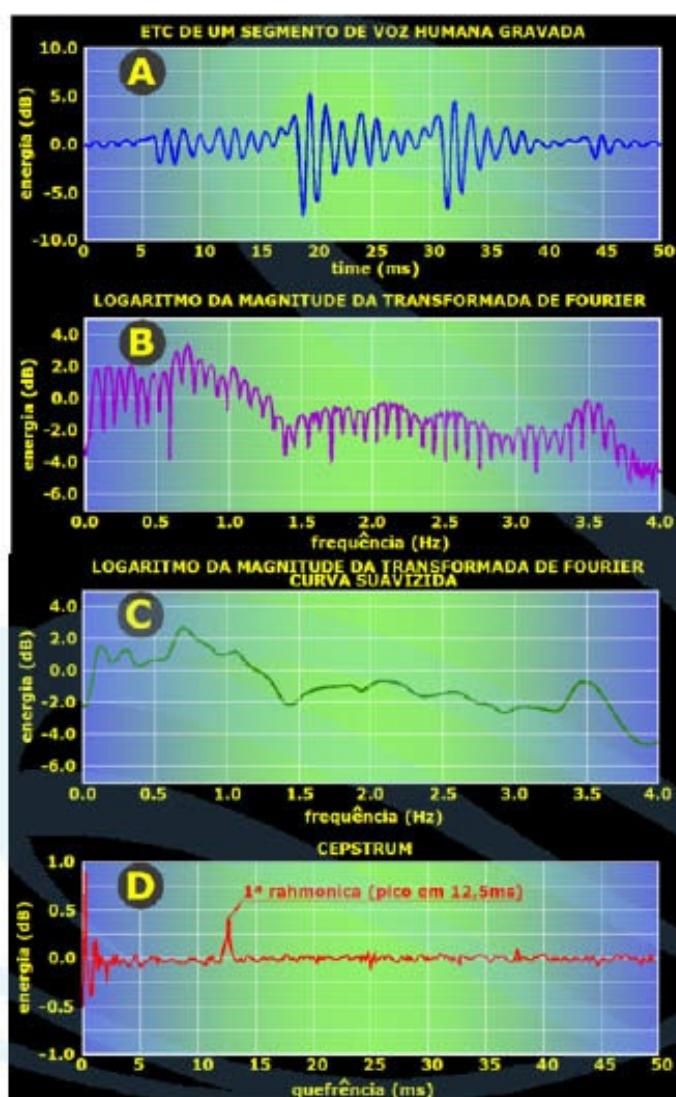


figura 12.36 sinal de voz (A), log da magnitude da transformada de Fourier desses mesmo sinal (B), curva B processada com longpass lifter (C) e transformada inversa de Fourier do logaritmo da magnitude da transformada de Fourier processada pelo longpass lifter (D) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O gráfico B exibe o logaritmo da magnitude da transformada de Fourier aplicada ao sinal do gráfico A.

O gráfico C mostra a curva do gráfico B processado por um longpass lifter (filtro passa baixas no domínio do cepstrum). A ideia dessa filtragem é extrair os componentes de baixa

quefrência que ficam abaixo do primeiro pico verificado nas harmônicas.

O gráfico D é a transformada inversa de Fourier do logaritmo da magnitude da transformada de Fourier processada pelo longpass lifter. Que é o cepstrum procurado. Observe bem o pico das “harmônicas” de $1/80 = 12,5$ milissegundos, que é a quefrência fundamental das ondas quase periódicas dos gráficos anteriores.

Comparando as curvas dos gráficos A e D pode se perceber que a quefrência fundamental também é o período da forma de onda variável no tempo.

Algumas pessoas com as quais conversei antes de escrever estas linhas opinaram que eu estava mirando um pouco fora da área da engenharia do áudio ao abordar o tema análise cepstral. Ponderei muito sobre isso. Acabei adotando o critério que não poderia deixar os leitores interessados sem ter um pacote introdutório de informações.

Afinal, além daquelas aplicações divisadas há muitas décadas por Oppenheim e Schafer, e anteriormente comentadas, a análise cepstral tem sido usada mais e mais, abarcando áreas como processamento de áudio, processamento da fala, radar, imagens em medicina e tantos e tantos outros campos.

Por exemplo, na restauração de gravações acústicas muito antigas. Como as de Enrico Caruso. Como se sabe essas gravações eram acústicas. Ou seja, voz e instrumentos eram captados por uma enorme corneta acústica. Respostas de frequência estapafúrdias resultavam muitas vezes por motivos variados. Inicialmente, as cornetas introduziam fortes distorções já que eram estruturas ressonantes em várias frequências. Quer ter uma ideia?

Veja a figura 12.37 que mostra a resposta de frequência de um tweeter tendo ao lado uma placa refletora, lá colocada com o propósito de produzir reflexões. O lado direito da figura mostra o cepstrum correspondente, processado pelo PRAXIS da Liberty Instruments.

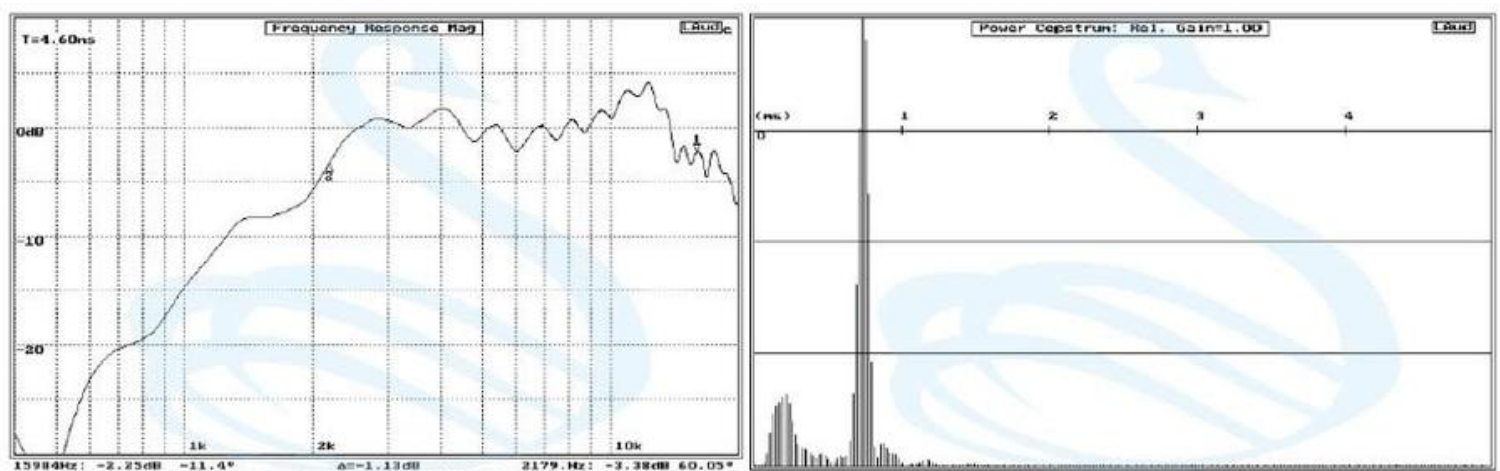


figura 12.37 resposta de frequência de tweeter ao lado de placa refletora à esquerda e cepstrum ao lado direito acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

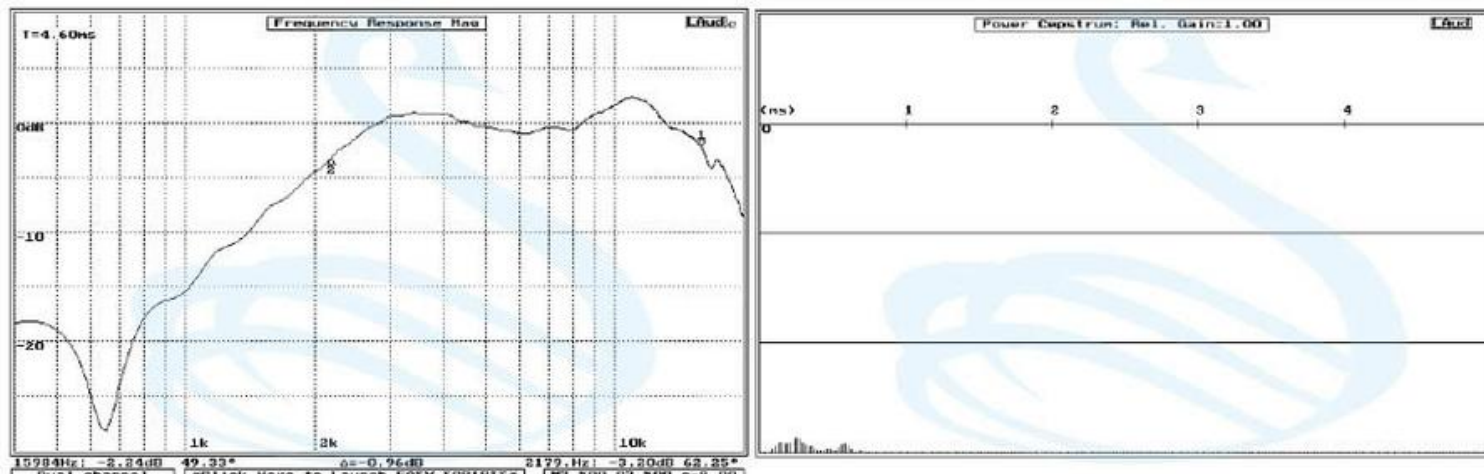


figura 12.38 resposta de frequência de tweeter sem a placa refletora à esquerda e cepstrum ao lado direito acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Assim, a análise cepstral possibilita separar a voz do artista dos artefatos condicionados pela corneta acústica de modo a obter uma espécie de voz original do artista que, desse modo, pode ser adquirida sem as interferências introduzidas pelas cornetas acústicas. Meu caro leitor. Pare um minuto para pensar no poder extraordinário que essa técnica nos põe nas mãos.

Além do mais, as respostas de frequência das antigas gravações acústicas também dependiam muito de variações de temperatura e umidade relativa do ar. Que, agora, com a análise cepstral, podem ser compensadas.

Outro amplo campo para aplicação da análise cepstral é o reconhecimento de voz.

Uma das coisas que me levou a escrever estas linhas é que os leitores realmente interessados nesse assunto não encontrarão quase nada em livros especializados.

Claro que há algum material disponível na Internet. Mas sempre em inglês e, como era de se esperar, de procedências confiáveis e não confiáveis. Como separa o joio do trigo? Francamente, é um problema.

Também encorajo os leitores interessados em fazer contato com algumas universidades que desenvolvem pesquisas nesse sentido e mesmo órgãos de estudos e de pesquisa para receber informes a respeito.

12.5 ALINHAMENTO E SOFTWARE

Vimos anteriormente uma série de programas voltados para o auxílio ao projetista, em sua etapa de prancheta. Outrossim, o alinhamento também pode ser muito facilitado com o uso de programas especializados.

De fato, há uma boa quantidade de programas que nos facilitam muito a vida enquanto estamos fazendo o alinhamento de um sistema.

Mas seria impossível que víssemos todos esses programas. Por isso, escolhi seis deles para que nos sirvam de exemplo. Os escolhidos foram o analisador TEF, o Smaart da SIA, o Laud da Liberty, o PRAXIS, também da Liberty, o SIM III da Meyer Sound e o MAPP, também da Meyer.

A razão dessa escolha é múltipla.

Inicialmente, é extremamente simples navegar através das inúmeras possibilidades dos programas escolhidos. Os respectivos visuais gráficos também são bastante agradáveis. Os resultados de todos eles, em maior ou menor grau, são suficientemente precisos. Finalmente, estamos discutindo programas de custo relativamente baixo. Quando digo custo relativamente baixo me refiro a profissionais, consultores e escritórios de engenharia que possam fazer uso prolongado e extensivo dos mesmos. Ou seja, o custo precisa ser diluído em muitos projetos.

Gostaria de fazer um comentário a respeito dos visuais desses programas. Pessoalmente, prefiro o visual das telas do PRAXIS. Mas se compararmos as reproduções em papel, então, o Smaart tem melhor desempenho.

Antes de entrarmos nos detalhes desses programas devo dizer que eles utilizam bastante os recursos FFT, ou Fast Fourier Transform. Se você quiser ter uma ideia melhor dessa transformada matemática, sugiro a leitura imediata do Apêndice H.

Praticamente todos esses programas especialmente desenvolvidos para utilização por sound contractors, engenheiros e técnicos de áudio, consultores de acústica, engenheiros e técnicos de som ao vivo e de estúdios, engenheiros e técnicos de telecomunicações, além de projetistas e instaladores de sistemas de áudio para cinemas e teatros.

O material que segue é apresentado com a intenção de informar a existência dos programas e dar ao caro leitor uma ideia da intenção e possibilidades de cada um deles. Apenas isso.

12.4.1 O Analisador TEF

O analisador TEF realmente é uma ferramenta muito poderosa durante toda e qualquer etapa de alinhamento de um sistema de áudio. Contudo, como esse analisador é parte do tema do apêndice D, ao invés de entrar em mais detalhes sobre ele, vamos tentar explorar um outro lado da mesma questão, vendo como outros programas para computador podem nos ajudar durante atividade de alinhamento de sistema de áudio.

12.4.2 O Smaart da SIA

De viagem aos Estados Unidos no início dos anos 90, visitei a JBL Professional. E lá tive a oportunidade de trabalhar com o software Smaart, então, recentemente lançado no mercado internacional.

Logo depois adquiri o Smaart Pro, versão 2.0. Aliás, com um mês de antecedência em relação à data oficial de lançamento do produto no mercado norte-americano.

A primeira versão do Smaart foi desenvolvida especificamente para sound contractors e para consultores de áudio e de acústica.

O objetivo de partida com o Smaart foi oferecer uma ferramenta simples, prática, precisa e

fácil de ser usada, voltada para a otimização de sistemas de áudio e análises acústicas.

Para chegar a isso foi feita uma avaliação de dados históricos.

Com efeito, nas últimas três décadas verificou-se um desenvolvimento fantástico na tecnologia de materiais, nos conceitos da engenharia eletrônica e até nas técnicas de manufatura. Em conjunto, esses fatores foram responsáveis por um excepcional incremento na qualidade dos aparelhos e acessórios. Tanto os utilizados no áudio profissional quanto os empregados no mercado doméstico.

Por sua vez, isso aumentou a níveis jamais registrados o grau de exigência das pessoas. Cujos níveis de expectativa para com os padrões de qualidade sônica aumentou sem precedentes.

Diante disso, sistemas novos ou já implantados tiveram que ser ajustados para atingir o limite do limite de seus efetivos potenciais de qualidade. E a etapa de ajuste dos sistemas, que já era algo um tanto quanto difícil, transformou-se numa atividade crítica. Exigindo muito mais tempo, mais atenção e mais dedicação por parte dos profissionais. Que entendiam que já era tempo da tecnologia responder com ferramentas mais eficazes. Pelas quais esperavam ansiosamente.

É nesse contexto que entrou em cena o Smaart. Cumprido seu ciclo de vida, a primeira versão foi substituída pelo Smaart Pro.

Tirando partido do processamento de 32 bits do windows e do sistema operacional NT 4.0, aquela versão já era muito mais rápida, poderosa e flexível que a anterior. Mas o melhor de tudo é que não era preciso investir em hardware dedicado.

De fato, era possível armar um belo circo apenas com um PC equipado com windows, uma placa de som de boa qualidade e um microfone padrão de testes. Isso era definitivamente tudo o que se precisava.

Como o Smaart original, a versão Pro dispunha de dois módulos. O Real Time e o Analysis. O primeiro era essencialmente um analisador FFT de espectro em tempo real (RTA) com uma série de recursos adicionais.

O segundo era um conjunto de poderosa ferramenta de análise de arquivos Windows Audio Waveform (*.wav).

O programa inteiro é formado por apenas dois módulos: o de Tempo Real, e o de Análise.

12.4.2.1 O Módulo de Tempo Real Uma vez aberto este módulo, que era questão de segundos, bastava clicar no botão com um triângulo sólido para que se abrisse uma tela como a da figura 12.39.

Uma análise preliminar dos elementos da tela certamente facilita muito a compreensão

potencial do módulo Real Time.

Imediatamente abaixo da barra de títulos do programa fica a barra de menus, contendo os seguintes nomes: File, Control, Locator, View, Options e Help.

Abaixo da barra de menus fica a barra de ferramentas, com um total de 22 botões arranjados em 7 blocos. Doravante, quando me referir a quaisquer desses blocos, estarei contando-os da esquerda para a direita.

A parte maior da tela, ligeiramente para a esquerda, é a área do displêi. Que usualmente mostra gráficos da forma frequência versus decibels.

Acima deste há uma pequena janela mostrando a posição do cursor, expressa em termos de frequência e de amplitude.

O cursor é facilmente movimentado com o mouse.

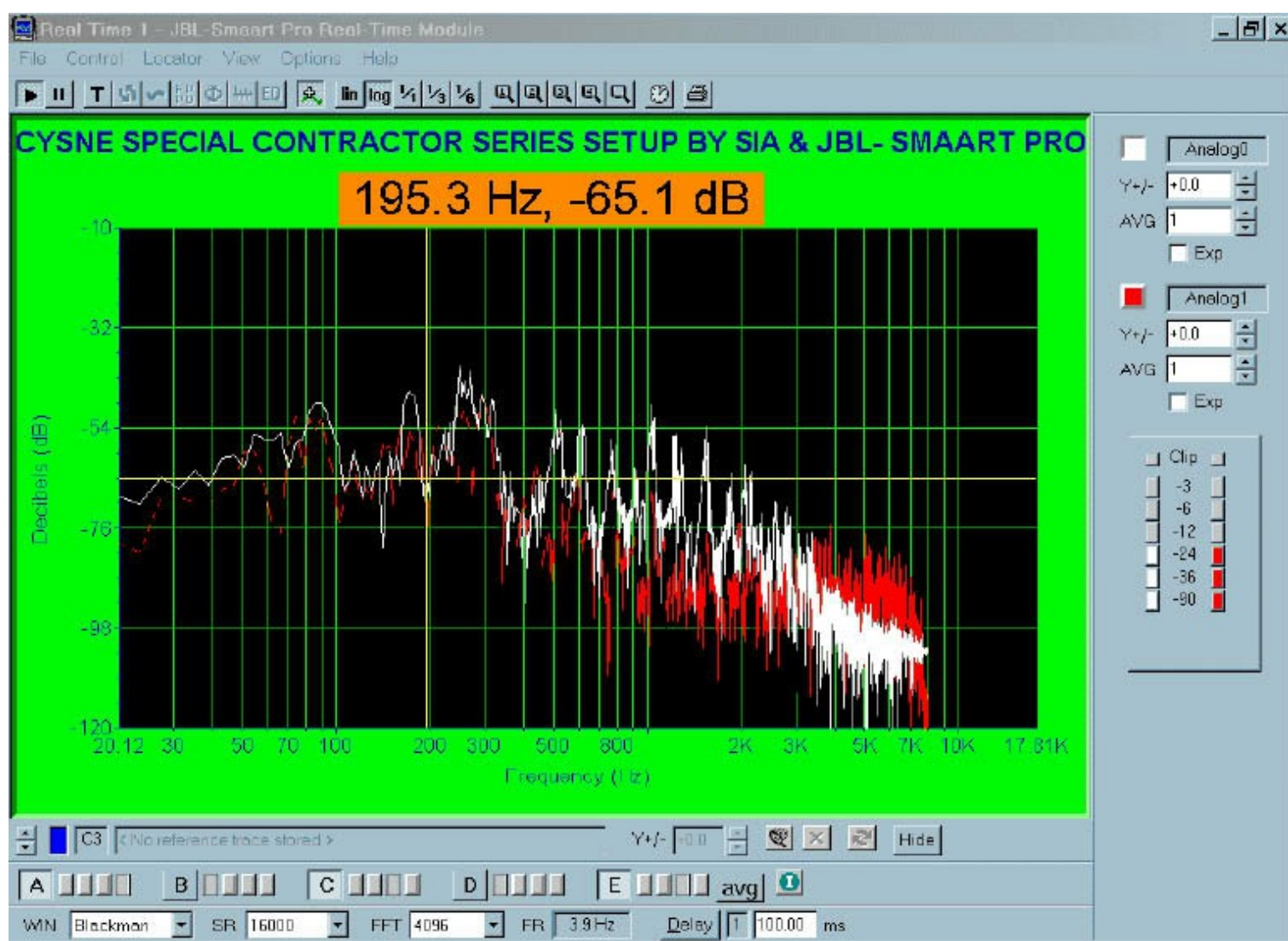


figura 12.39 a tela principal e a comparação de dois sinais de entrada acervo do engº Luiz Fernando O.

Cysne Abaixo da área do displêi fica a barra de status. E abaixo desta fica a barra de registros. Já na parte inferior da tela encontra-se a barra de entrada.

No canto direito da tela fica a área de informação dos traços. Que são as curvas apresentadas na área do displêi. Essa área exhibe dois blocos idênticos de informações, um para cada traço, denominados X e Y pelo programa, além dos dois medidores VI, que informam os níveis dos dois sinais de entrada.

Voltemos à figura 12.39. Lá está a tela típica do analisador de espectro operando no modo “dois canais”. Nesse modo, a cada uma das entradas da placa de som corresponde um traço na tela.

Para iniciar os trabalhos, a primeira coisa a fazer é ajustar os parâmetros de entrada. Isto é, o usuário pode manter ou alterar os valores de Data Windows, de Sampling Rate e FFT Size. Ou WIN, SR e FFT, na terminologia utilizada na barra de entrada.

A janela identificada com a sigla FFT indica o valor da Resolução de Frequência. Este não é um valor ajustável, mas uma decorrência direta dos ajustes de diferentes combinações de SR com FFT. Na prática, o valor de FR representa em Hertz a “distância” entre os pontos de dados FFT.

Portanto, menores “distâncias”, ou menores valores de FFT, indicam melhores resoluções porque os pontos de dados ficam mais agrupados entre si.

Isso posto, vamos à barra de ferramentas.

O primeiro bloco contém dois botões. Um com o triângulo sólido e outro com os dois traços verticais e paralelos.

O primeiro é o botão Run, que inicia a operação do analisador de espectro.

O segundo é o Pause, que congela temporariamente os traços, como eles se apresentavam no momento do acionamento do botão.

O quarto bloco da barra de ferramentas contém os botões log, lin, 1/1, 1/3 e 1/6.

Com os dois primeiros pode-se escolher a escala de frequências, entre linear e logarítmica. Que é a utilizada na figura 12.39. Os demais botões do bloco permitem que o usuário escolha o tipo de analisador que estará ativo. Com as opções de oitavas, de terço de oitavas e de sexto de oitavas.

A figura 12.40 mostra o analisador operando em 1/6 de oitavas, modo dois canais.

No módulo Real Time o usuário pode estabelecer o alcance de frequências. Ou seja, selecionar a menor e a maior frequências que limitam o espectro apresentado no gráfico principal da área do displêi.

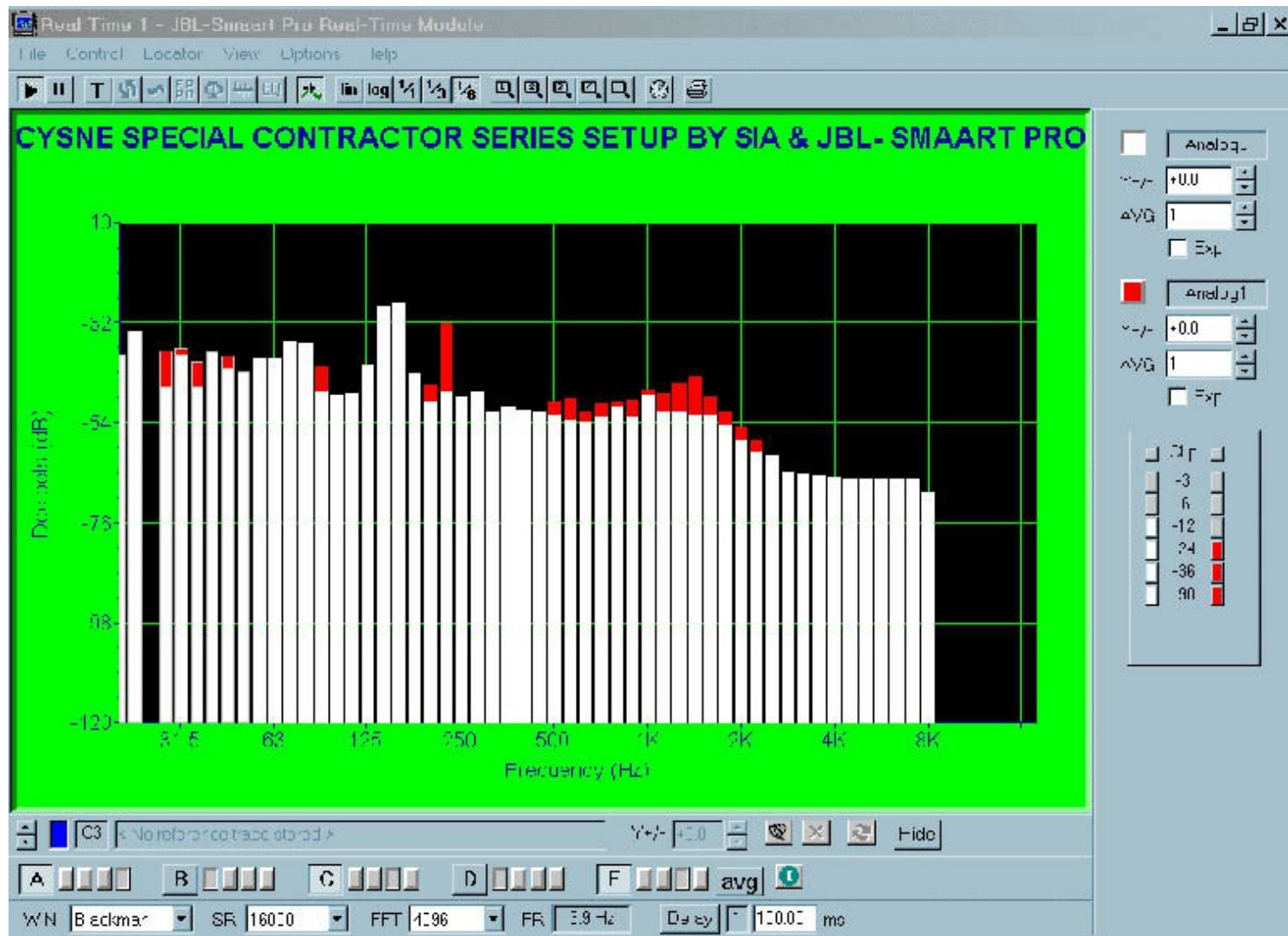


figura 12.40 analisador de espectro em tempo real (RTA) operando em 1/6 de oitava acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O quinto bloco da barra de ferramentas tem 5 botões, todos com lupas, das quais 4 são numeradas. Esses botões com lupas numeradas permitem que o usuário configure e grave 4 diferentes alcances de frequências.

Também é possível aumentar a área do displêi. Para isso usa-se o quinto botão do bloco. O que tem a lupa não numerada.

Quando esse botão é acionado a área do displêi aumenta para a direita da tela, ocupando a área reservada para as informações dos traços.

A escala de amplitudes pode ser alterada através das teclas [+] e [-] do teclado. Na prática, alterar a escala de amplitudes é como se alterássemos a gama dinâmica da apresentação.

A calibração “default” do instrumento é tal que o 0 dB da escala de amplitudes corresponde à magnitude teórica máxima de um sinal digital de uma onda sinusoidal de 1 kHz, com amostragem de 16 bits.

Ou seja, ± 215 , ou 32.767 unidades digitais de amplitude.

Um dos pontos fortes do módulo Real Time é que ele permite que o usuário calibre e recalibre o “instrumento” a qualquer tempo. O que é feito com muita facilidade a partir de um sinal externo de magnitude conhecida.

Sem qualquer sombra de dúvida, o recurso Transfer Function, ou Função Transferência, é

um dos mais úteis do módulo Real Time. Ele é controlado pelos sete botões do segundo bloco da barra de ferramentas.

O botão com a inscrição T é o botão Transfer, que inicia a Função Transferência.

Essa função divide continuamente os dados de entrada dos dois canais, no domínio da frequência.

O resultado na tela é a apresentação de um único traço, que mostra as diferenças de magnitude dos dois sinais. Como mostra a figura 12.41.

No caso específico desta figura, os sinais de entrada e de saída são de um equalizador paramétrico. Naturalmente, poderia ter sido utilizado qualquer outro tipo de equalizador, ou qualquer outro processador de sinais. Ou ainda, dois pontos quaisquer de um mesmo sistema.

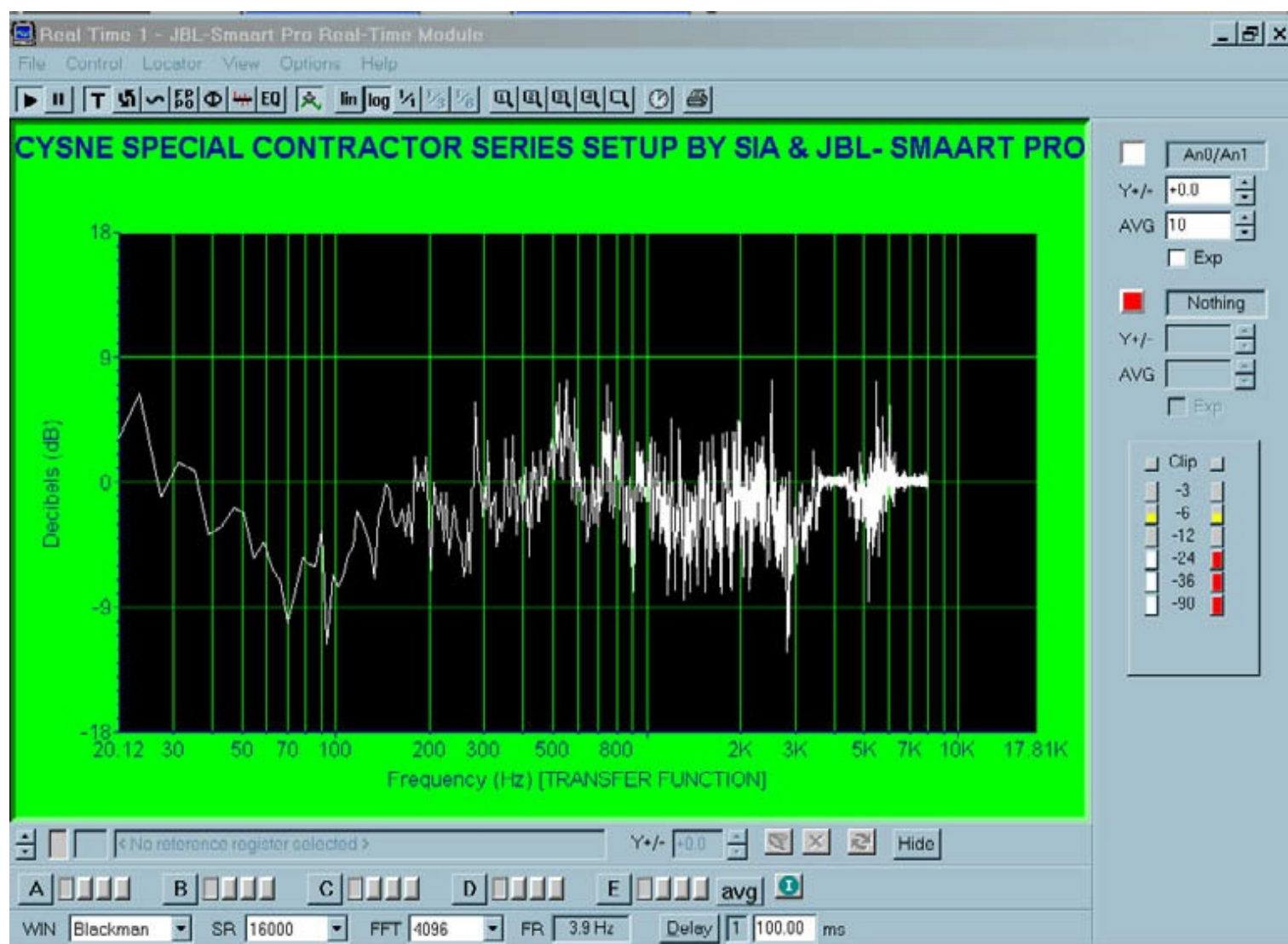


figura 12.41 função transferência e seu traço característico acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
Assim, podemos comparar o ruído de entrada de um sistema com a leitura feita por um microfone amostrando os falantes do mesmo sistema, em qualquer ponto do local sonorizado. Creio que isso é o bastante para evidenciar a importância e a utilidade da Função Transferência.

Ao lado direito do botão T está o botão Swap que, se acionado, inverte a ordem da divisão. É o equivalente em soft a invertermos fisicamente as ligações das duas entradas na placa de som.

O botão à direita do Swap é o Smooth. Quando acionado, faz surgir na tela um segundo

traço, que é a versão suavizada do traço original. Como na figura 12.42, que pode ser comparada com a figura 12.41.

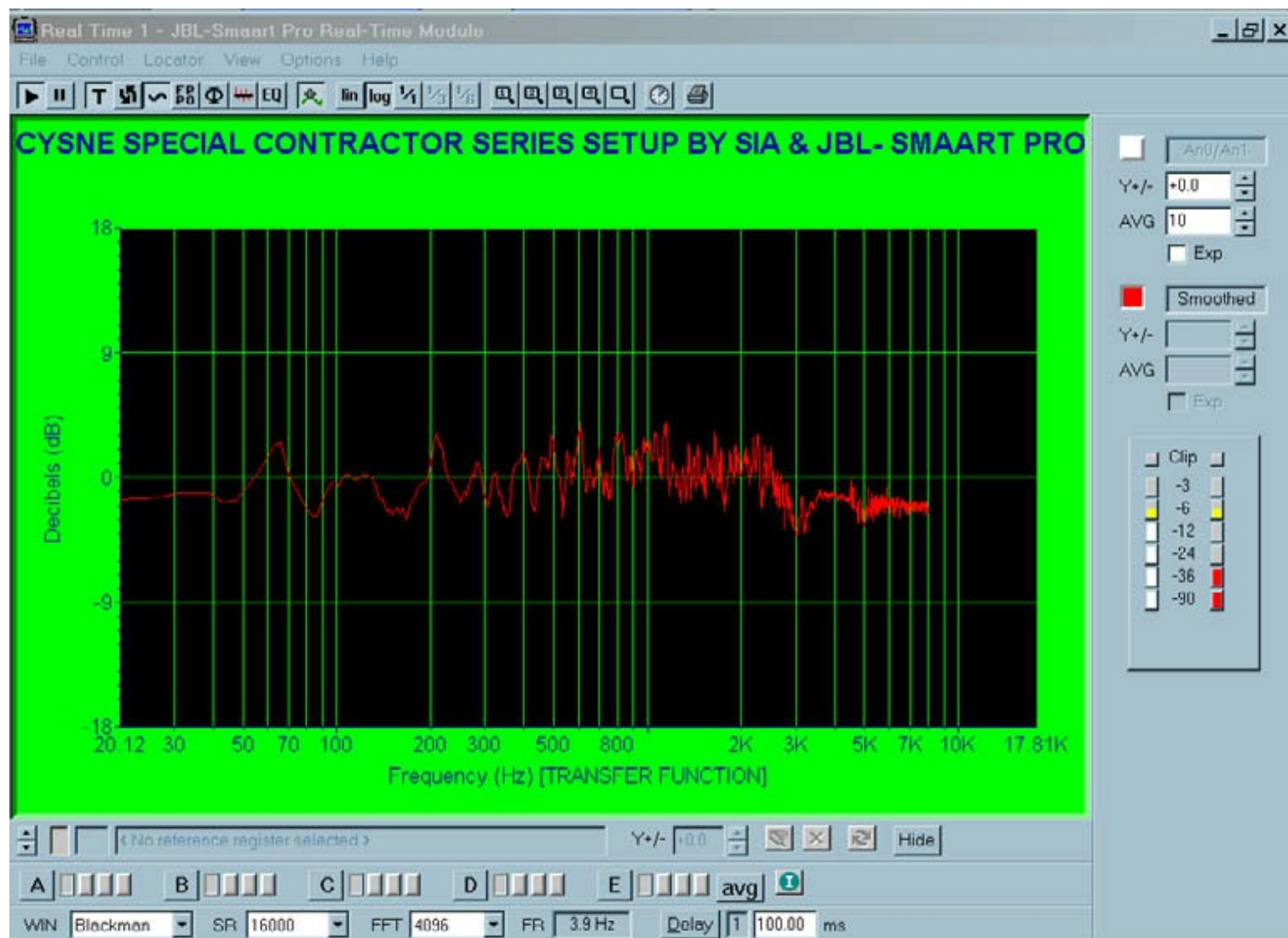


figura 12.42 função transferência com traço suavizado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando comparamos as versões original e suavizada da Função Transferência, de início podemos ter a impressão que, deliberadamente, foi introduzida uma forma de distorção. Mas é preciso considerar que os dados da Função Transferência podem se mostrar algo erráticos sob determinadas circunstâncias. Por exemplo, quando são utilizados elevados FFT Size. Assim, o Smooth foi concebido para melhorar esse comportamento errático, de modo que nenhuma informação importante e significativa seja desprezada.

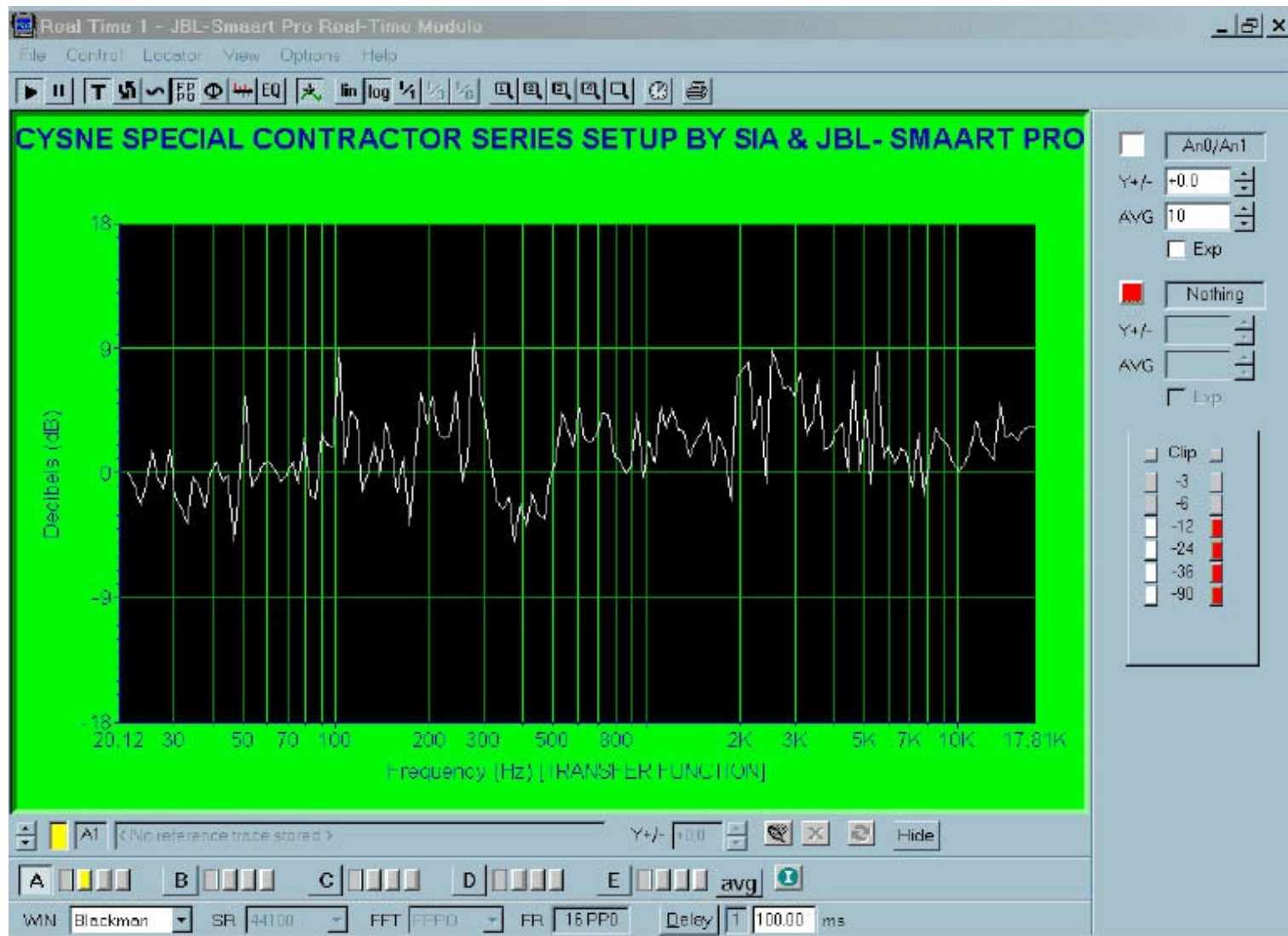


figura 12.43 função FPPO ativada e traço mais consistente nas baixas frequências acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando se faz uma medição com uma única combinação de Sampling Rate com FFT Size, os pontos de dados resultam linearmente espaçados.

Ou seja, uma oitava qualquer possui o dobro de pontos de dados FFT que a oitava anterior e a metade que a subsequente. Essa característica, inerente a qualquer técnica de medição FFT, pode significar uma dificuldade de representação fiel de todo o espectro de frequências, por insuficiência de informações em sua região inferior.

O que é particularmente acentuado nas medições acústicas empregando microfones. Para resolver o inconveniente foi usada muita imaginação. E o Smaart se saiu com a função Fixed Points Per Octave.

Acionada pelo botão FPPO, esta função obriga o programa a fazer cálculos FFT sucessivos, de sorte que os traços sejam sempre construídos a partir de 16 pontos em cada oitava, no espectro de 20 Hz a 20 kHz.

Entretanto, com a função FPPO ativada, a resposta torna-se mais lenta. E por isso não é recomendada para medições elétricas, que podem ser feitas com a estabilidade suficiente empregando-se apenas a Função Transferência convencional. A figura 12.43 mostra a curva mais precisa que resulta do acionamento da função FPPO.

À direita do botão FPPO fica o botão Phase.

Que inicia a função de mesmo nome.

Quando fazemos isso, a área do displêi muda para o que mostra a figura 12.44.

A Função Transferência normal, representada em termos de magnitude versus frequência, fica no gráfico inferior.

Enquanto o gráfico superior mostra os deslocamentos de fase entre o sinal medido e o sinal tomado como referência.

A escala “default” para deslocamentos de fase é $\pm 270^\circ$.

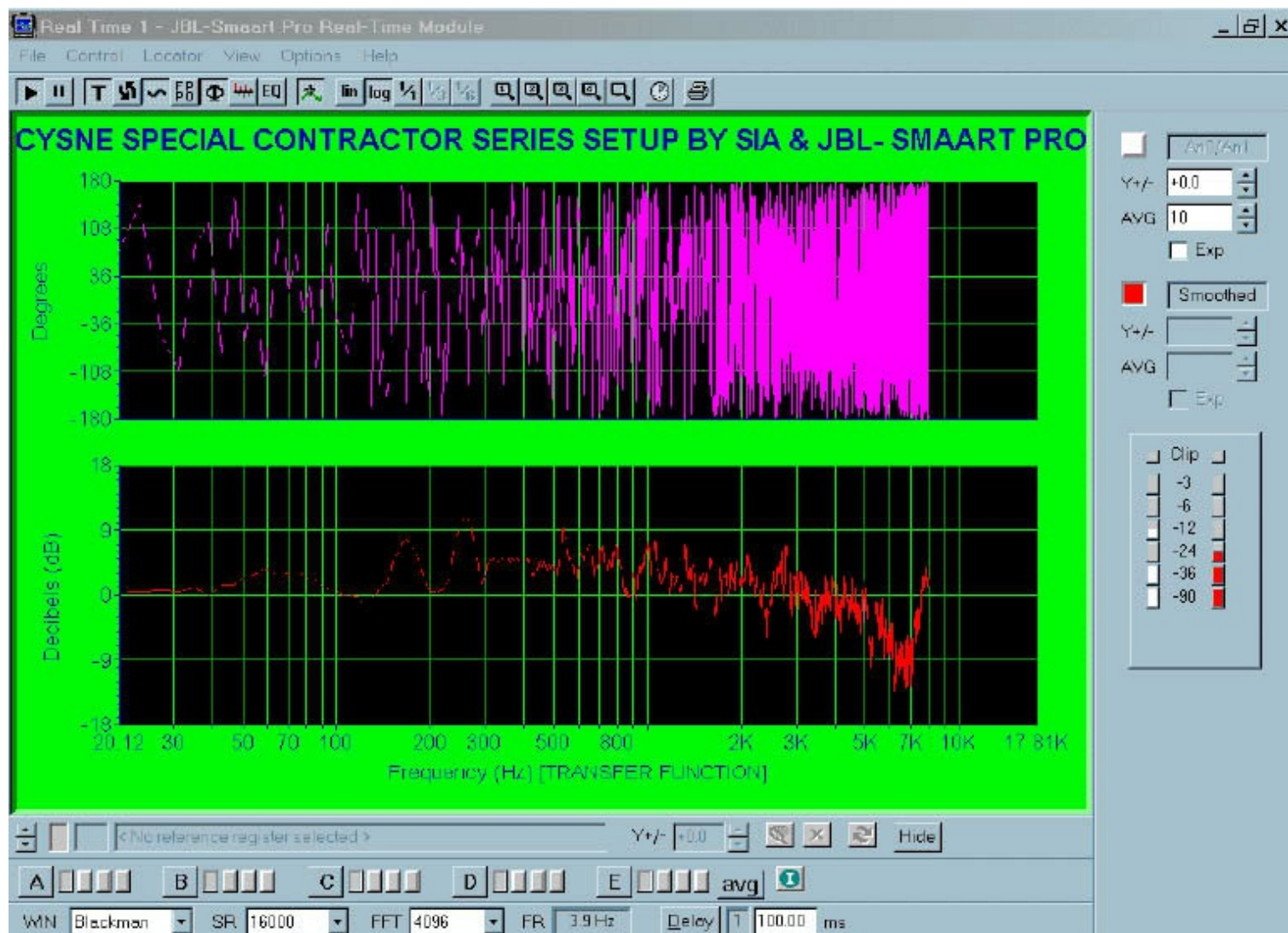


figura 12.44 tela mostrando fase na parte superior e magnitude na parte inferior acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Ao lado direito do botão Phase fica o botão Coherence. Que ativa a função de mesmo nome. Seu propósito é aferir a linearidade relativa entre dois sinais. O módulo Real Time calcula valores de coerência, situando-os entre 0 e 1. Para cada ponto FFT é desenhada na tela uma linha vertical com o valor correspondente. Como mostra a figura 12.45.

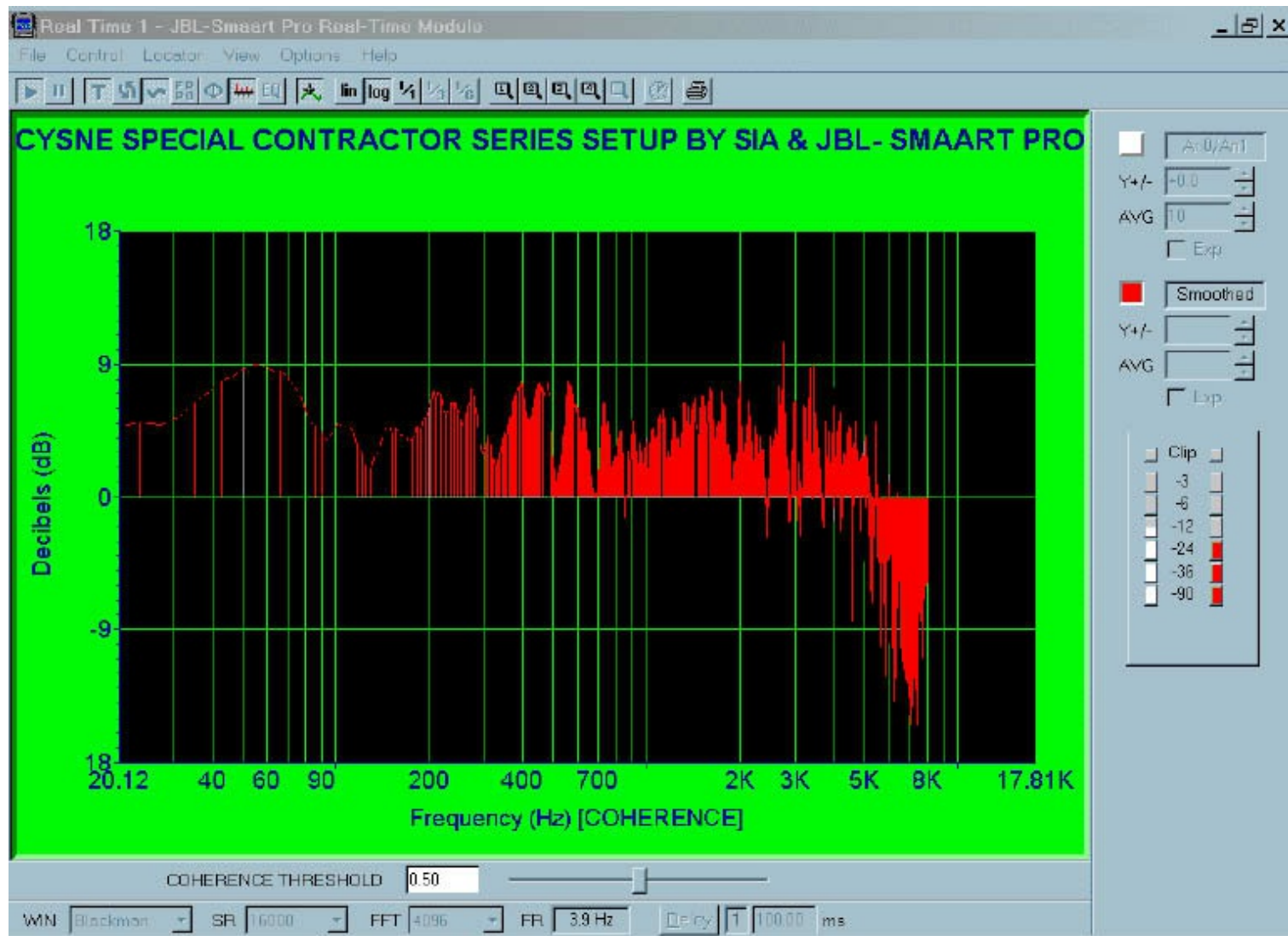


figura 12.45 valores de coerência entre dois sinais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quanto mais próximo de 1 for o valor, mais coerentes entre si são os sinais comparados. Quando comparamos entradas e saídas de aparelhos como amplificadores, encontramos valores próximos da unidade.

Os valores de coerência obtidos com a comparação de entradas e saída de equalizadores e processadores de sinal variam de acordo com o grau de equalização ou do processamento aplicado.

Valores de coerência acima de 0,45 indicam linearidade aceitável para medições acústicas, como os sinais provenientes de microfones. Valores de coerência de 0,25 ou menos indicam claramente padrões inaceitáveis diante de quaisquer circunstâncias.

O sétimo e último botão do bloco da Função Transferência é o EQ, que fica à direita do botão Coherence. Ele aciona o EQ Mode, abrindo a possibilidade do usuário controlar remotamente um equalizador MIDI controlável. E enquanto o usuário exercer esse controle, pode observar em tempo real a resposta do equalizador expressa em termos de Função Transferência.

Com o EQ Mode ativo a área de informação dos traços se transforma num painel de controle MIDI, como mostra a figura 12.46.

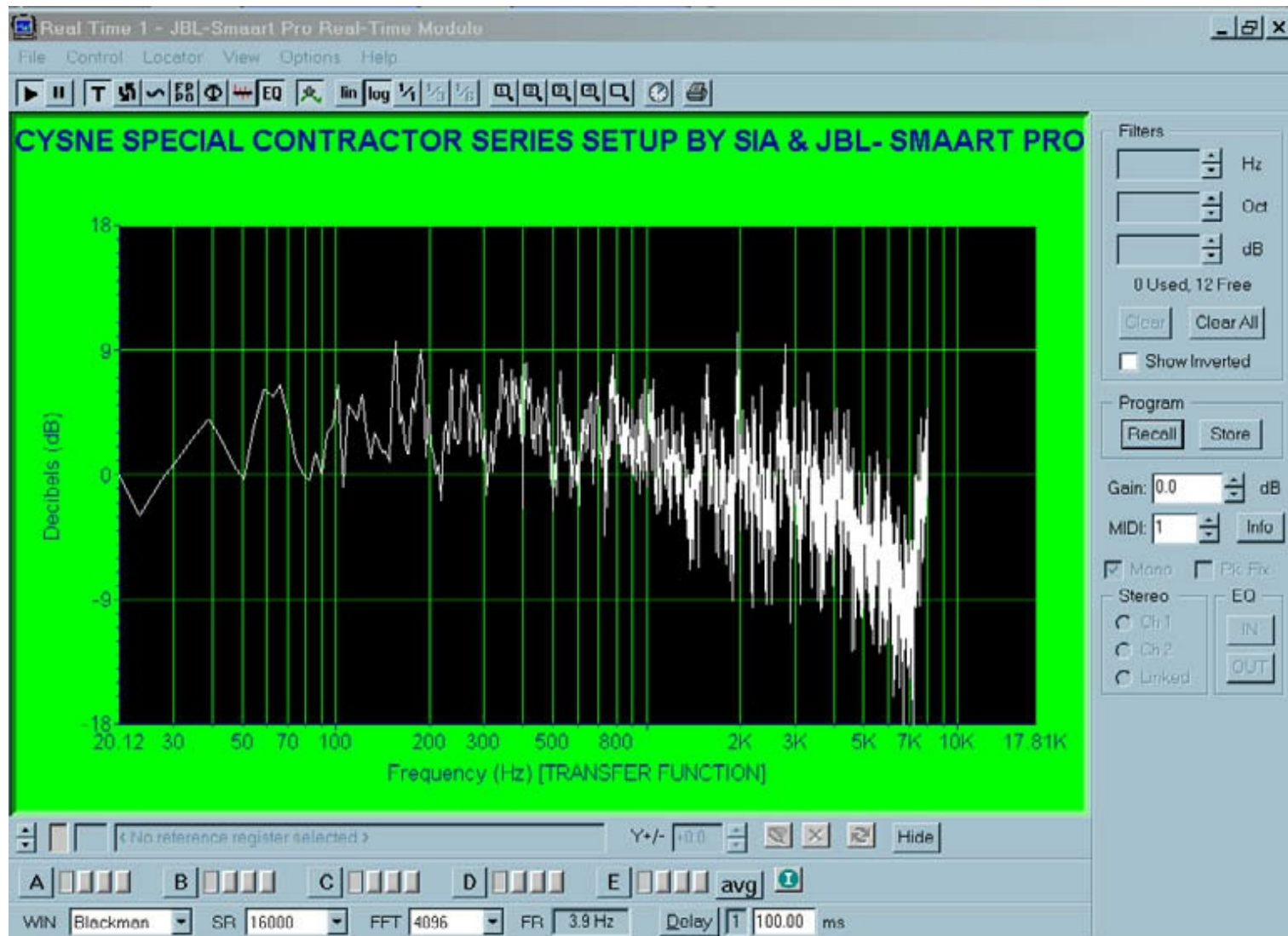


figura 12.46 tela com EQ Mode ativado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É através desse painel que se ajustam os filtros do equalizador, que se controla o seu ganho ou atenuação, que se habilita o modo Access, que se seleciona o canal de comunicação com o aparelho remoto e que se salvam e recuperam programas MIDI.

Podemos ver na tela principal do módulo Real Time, mais especificamente na barra de status, que há 5 bancos de registros denominados A, B, C, D e E. Cada um deles tem 4 células. Elas lá estão para que possamos capturar imagens instantâneas dos traços. Que poderão ser recuperadas a qualquer tempo. Essas informações permanecem nos registros até que as substituamos por outras ou que as apaguemos das memórias.

Há uma etiqueta eletrônica para cada banco de registros, e mais uma para cada registro, onde podemos dar nomes às imagens e fazer anotações.

A qualquer tempo podemos memorizar um determinado traço, e imediatamente depois, ou mesmo muito tempo depois, fazer comparações em tempo real entre um determinado sinal e o conteúdo da memória.

O que podemos fazer com isso? Um universo de avaliações.

Por exemplo, você poderá memorizar as curvas referentes a um microfone unidirecional e, depois, comparar com elas outras, de microfones direcionais.

Imagine a seguinte possibilidade. A caixa acústica do sistema que você acabou de instalar

está fixa num determinado local. Você alimenta o sistema com ruído rosa e lê com o Smaart a resposta da caixa acústica nesse local. Essa resposta é então memorizada numa determinada memória.

A partir daí você começa a mudar a caixa acústica de posição, enquanto vai avaliando as novas respostas. Mas não diretamente. Isso é, você vai comparando as novas respostas com a primeira, memorizada com a caixa acústica em seu lugar original.

Tal procedimento possibilita que você “enxergue” variações nas respostas devidas a reflexões em superfícies próximas, como chão e paredes, e avalie a linearidade das respostas, que resultam das interações acústicas provocadas por combinações de ondas diretas e refletidas.

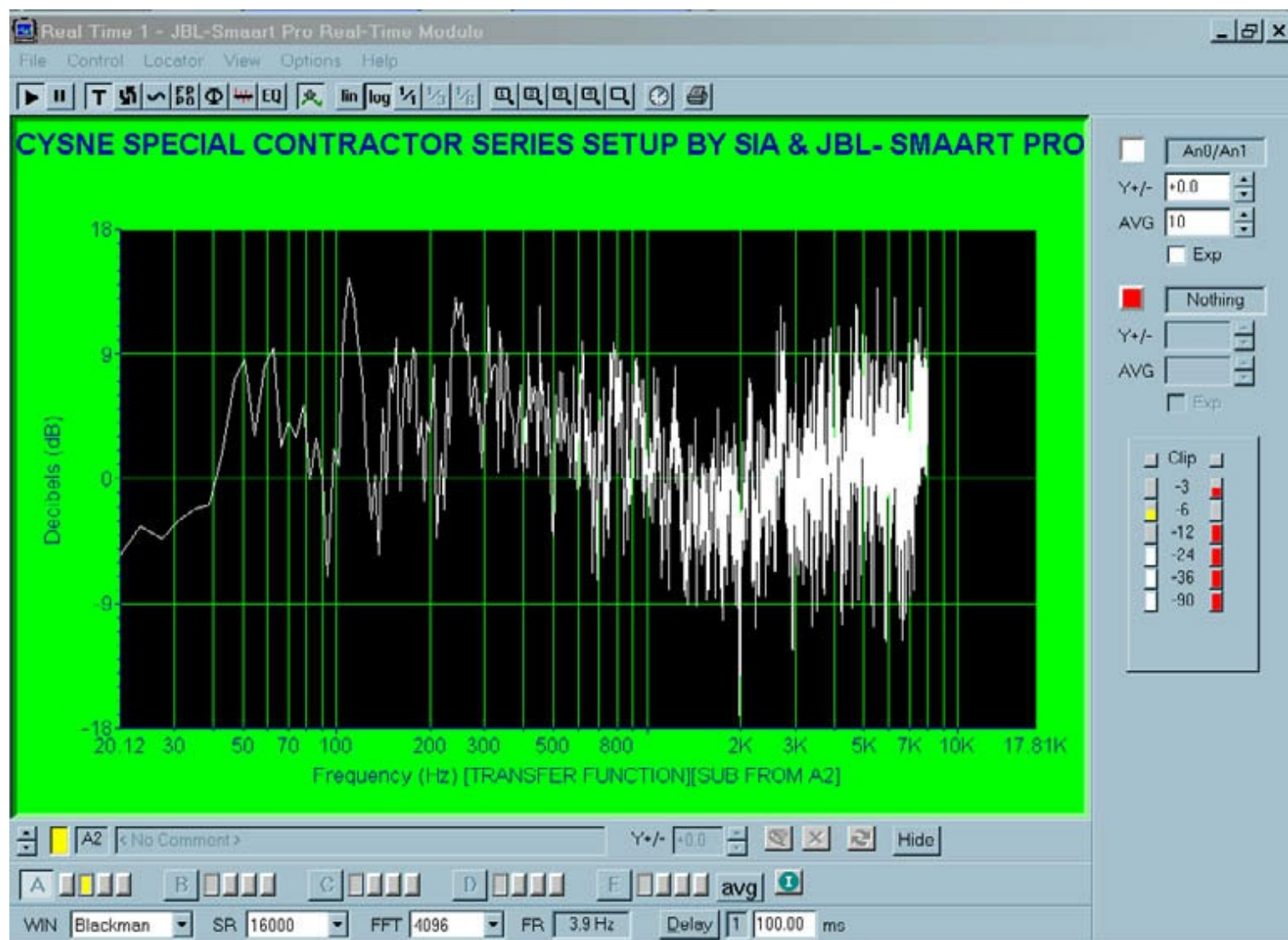


figura 12.47 comparação direta de medição em tempo real com memória 2 do banco A **acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne** A figura 12.47 mostra uma comparação direta de um sinal de entrada contra um valor memorizado, registrado na memória 2 do banco A. Para conseguir isso você simplesmente tem que apertar a tecla “M” do teclado. O pressuposto é que haja conteúdo na memória.

O terceiro bloco da barra de ferramentas só tem um botão. Que é o Locked Cursor, ou Cursor com Travamento. Esse recurso possibilita a localização imediata de picos e vales nos dois traços, e também, a localização rápida de harmônicas e subharmônicas de quaisquer frequências, referidas às respectivas fundamentais.

O botão com um relóginho do sexto bloco da barra de ferramentas é o Delay Locator. Outro dos recursos extremamente úteis do módulo. Sua finalidade é estabelecer com precisão o atraso entre dois sinais.

Pense na comparação de um sinal elétrico em curso pelo sistema. Por exemplo, o sinal numa das saídas do mixer, com outro, proveniente de um dos alto-falantes do sistema. Que será lido pelo microfone de teste. É fácil entender que há um atraso no sinal proveniente do microfone, imposto pelo tempo de viagem do som do falante ao microfone. Adicionalmente, poderá haver mais atraso eletrônico determinado por outros aparelhos do próprio sistema.

Assim, para que tais comparações sejam realmente precisas, é fundamental que os dois sinais estejam alinhados no tempo. Eis a razão pela qual precisamos descobrir com acuidade qual é o atraso entre os dois sinais.

Começamos por acionar o botão Delay Locator. Nesse momento, surge na tela um novo botão, que é o Start. A rotina não inicia diretamente. Porque? Porque precisamos nos certificar que os sinais de entrada então com seus níveis corretos. Algo em torno de -12 dB em relação ao 0 dB dos medidores VI. Só então devemos clicar o botão Start. Nesse momento o programa inicia a gravação e o processamento de dados, apresentando na tela a resposta a impulso do sistema, na forma amplitude versus tempo.

A parte vertical à esquerda do traço marca a contagem do tempo. Depois disso, e logo à direita, vemos um pico elevado, ainda no início do traço. Ele representa o final da contagem de tempo e a determinação do atraso. Podemos aplicar zoom à vontade sobre a escala de tempo, o que fazemos para avaliar mais detalhadamente a estrutura do pico e determinar o atraso efetivo.

A figura final é indicada numericamente na tela, como ilustra a figura 12.48. No caso, 342,06 milissegundos, correspondentes a 116,77 metros. Vale notar que essa medição foi feita durante um de meus Cursos de Áudio Profissional, na fazenda. Para obter esses dados preparei um local externo, medindo com trena distância de 115 metros entre o falante e o microfone de teste.

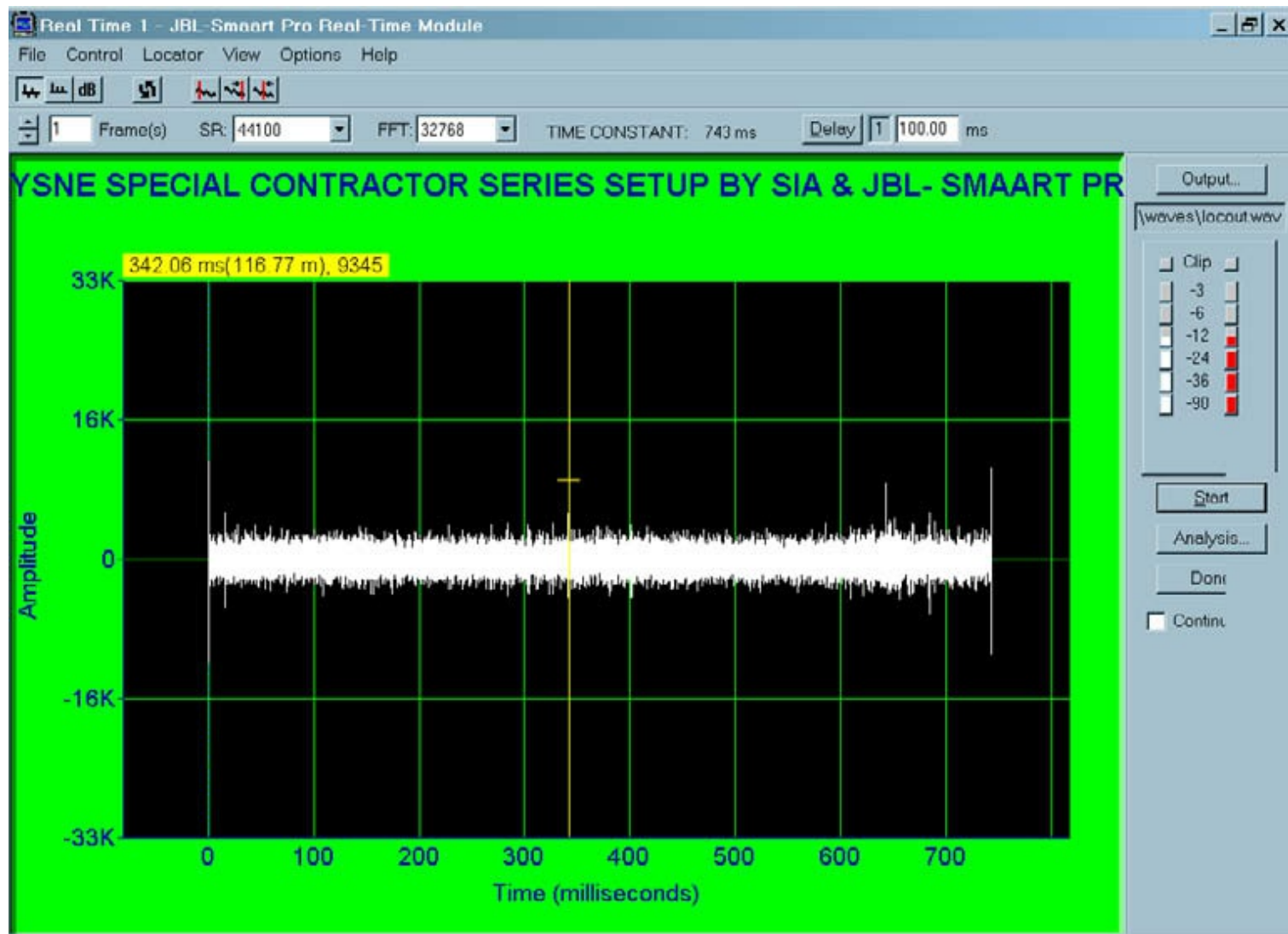


figura 12.48 resultado do processamento do delay locator acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esse recurso possibilita que você alinhe sistemas dotados de torres de atraso, ou quaisquer outros que utilizem atraso de sinal, sempre com extrema precisão. Com direito à prova dos nove. Sim, porque depois de ajustados os atrasos, podemos repetir as medidas com o Delay Locator. Naturalmente, com atrasos bem feitos teremos resultados nulos.

Para medições de rotina, o módulo Real Time possibilita que o usuário armazene até 5 atrasos internos, de até 500 milissegundos cada um.

O único botão do sétimo bloco da barra de ferramentas é o de impressão. Ele abre uma caixa de diálogo padrão windows, através da qual é possível imprimir praticamente quaisquer das telas.

Os menus suspensos da barra de menus possibilitam uma outra forma de acesso a várias das funções, que também podem ser iniciadas diretamente pelos botões, ou por comandos dados através do teclado.

Entretanto, há alguns recursos que só podem ser iniciados pelos menus. É o caso das configurações em geral, como por exemplo os das telas.

O módulo Real Time também pode fazer cálculos para a determinação das Classes de Transmissão de Ruídos (STC) e dos Critérios de Ruídos NC e curvas correspondentes.

O comando [control] + [F] ativa o recurso Trace Difference. Nesse caso, a Classe de Transmissão de Ruídos (STC) é calculada com resolução de 1/3 de oitava. Do mesmo modo, o

comando [control] + [N] faz com que as curvas NC dos dois traços sejam calculadas diretamente.

12.4.2.2 O Módulo Analysis Como sugere a figura 12.49, a representação gráfica deste módulo é semelhante à do módulo Real Time. A barra superior é a de títulos. Abaixo dela fica a barra de menus. E a seguir fica a barra superior de ferramentas. A área abaixo desta é a área da forma de onda.

A área maior da tela, com um gráfico graduado em tempo versus amplitude, é a área do displêi.

Abaixo deste fica a barra inferior de ferramentas e, finalmente, a barra de status.

A barra superior de ferramentas apresenta 20 botões distribuídos em 8 blocos.

O primeiro bloco tem 2 botões. O primeiro, que é o botão de abertura de arquivo, é designado Open File 1, e o segundo, com o retângulo branco, é o botão Transform.

O procedimento de análise inicia com a abertura de ao menos um arquivo wav, representando um ruído de impulso. Para tanto, o usuário pode se valer do botão Open File 1. Ele abre uma caixa de diálogo, através da qual é possível localizar e carregar o arquivo desejado. No caso da figura 12.49, já há um arquivo carregado. Por ser um arquivo wav, ele apresenta-se no domínio do tempo. E o tempo total de duração do arquivo aparece tanto na área da forma de onda quanto na área do displêi.

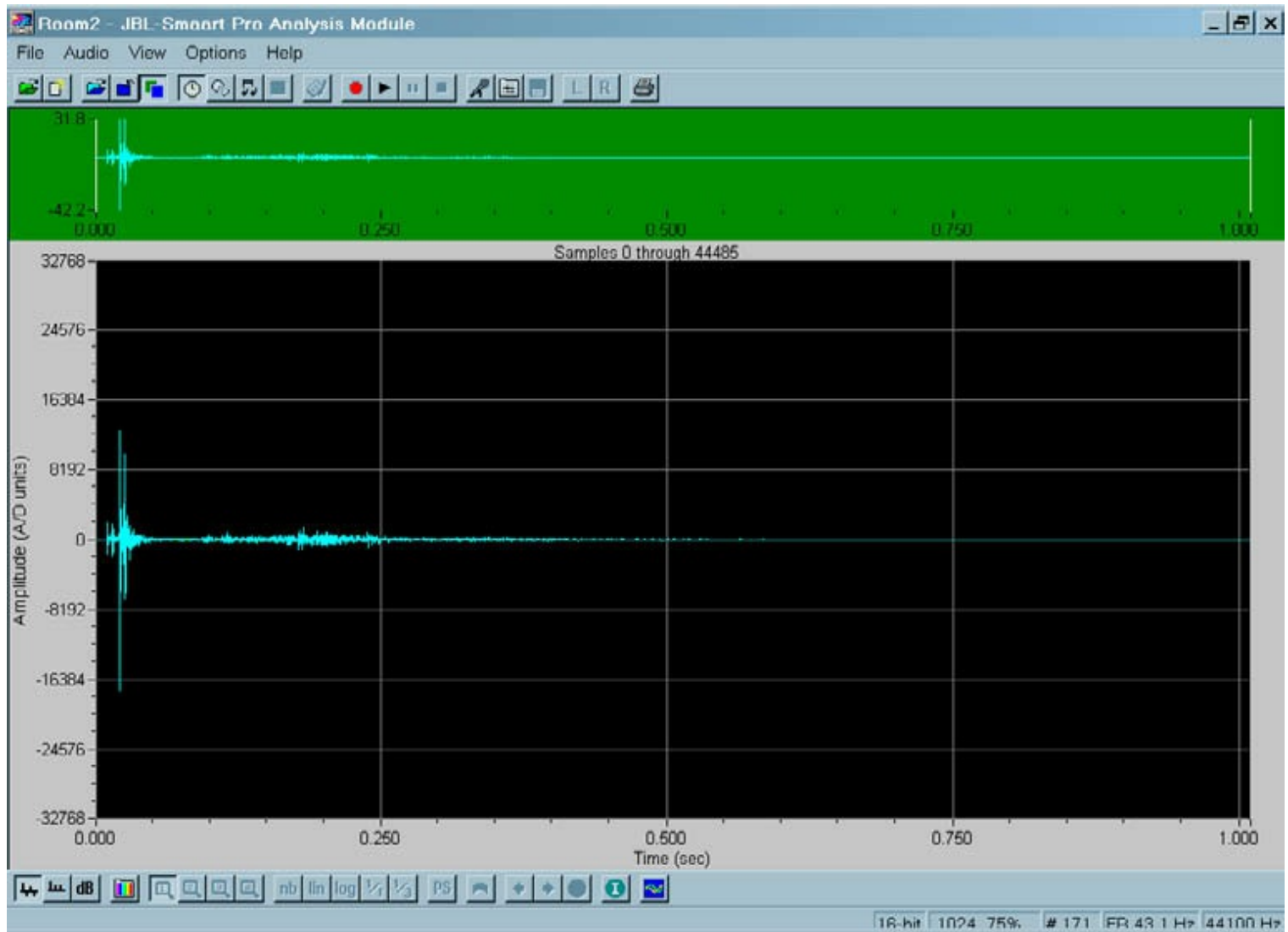


figura 12.49 a tela típica do módulo Analysis, mostrando ruído de impulso acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne É possível aplicar zoom na escala de tempo, o que se faz para análise mais detalhada de uma parte do arquivo. O procedimento pode ser iniciado via teclado ou via mouse.

A barra inferior de ferramentas também possui 20 botões, mas agora distribuídos em 9 blocos. O primeiro bloco possui 3 botões. O primeiro é o linear. Através dele o usuário deixa a escala de amplitudes linear, em termos de unidades A/D. Isto é, são unidades digitais de amplitude, como provenientes da placa de som.

O segundo botão é o de valor absoluto. Se acionado, todos os valores negativos são convertidos em equivalentes positivos, e a escala de amplitudes, que ainda será linear, só apresentará valores positivos.

O terceiro botão deste bloco, com a identificação dB, faz com que a escala de amplitudes passe a ser graduada em dB com progressão logarítmica. Ou seja, o programa calcula $20 \log$ de cada unidade A/D para todos os valores, exceto zero.

Utilizada a escala dB o displêi se mostra como na figura 12.50.

O terceiro bloco da barra inferior de ferramentas possui quatro botões, todos com lupas numeradas. Esses são os botões de zoom de frequência, que trabalham da mesma maneira que os correspondentes do módulo Real Time.

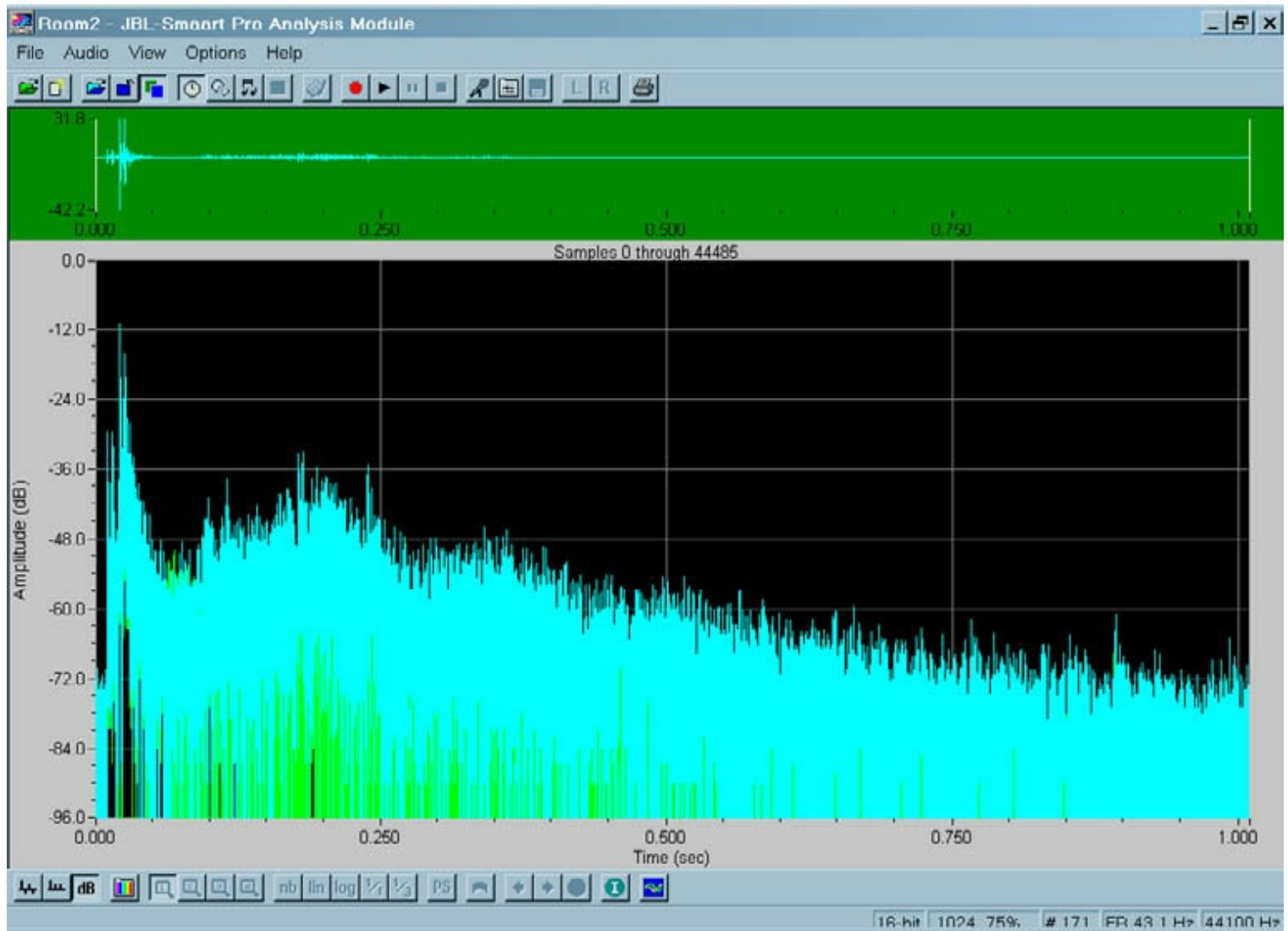


figura 12.50 a tela do módulo Analysis com magnitude graduada em dB
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como o grande poder de análise do módulo Analysis requer representações no domínio da frequência, é preciso transformar o arquivo wav. Essa transformação é uma sequência de cálculos FFT, através dos quais os dados no domínio da frequência são obtidos a partir dos dados no domínio do tempo, codificados nos arquivos wav.

Para iniciar a transformação o usuário aciona o botão Transform. Ele abre uma caixa de diálogo através da qual é possível selecionar o FFT size, a taxa de overlap e o Data Windows.

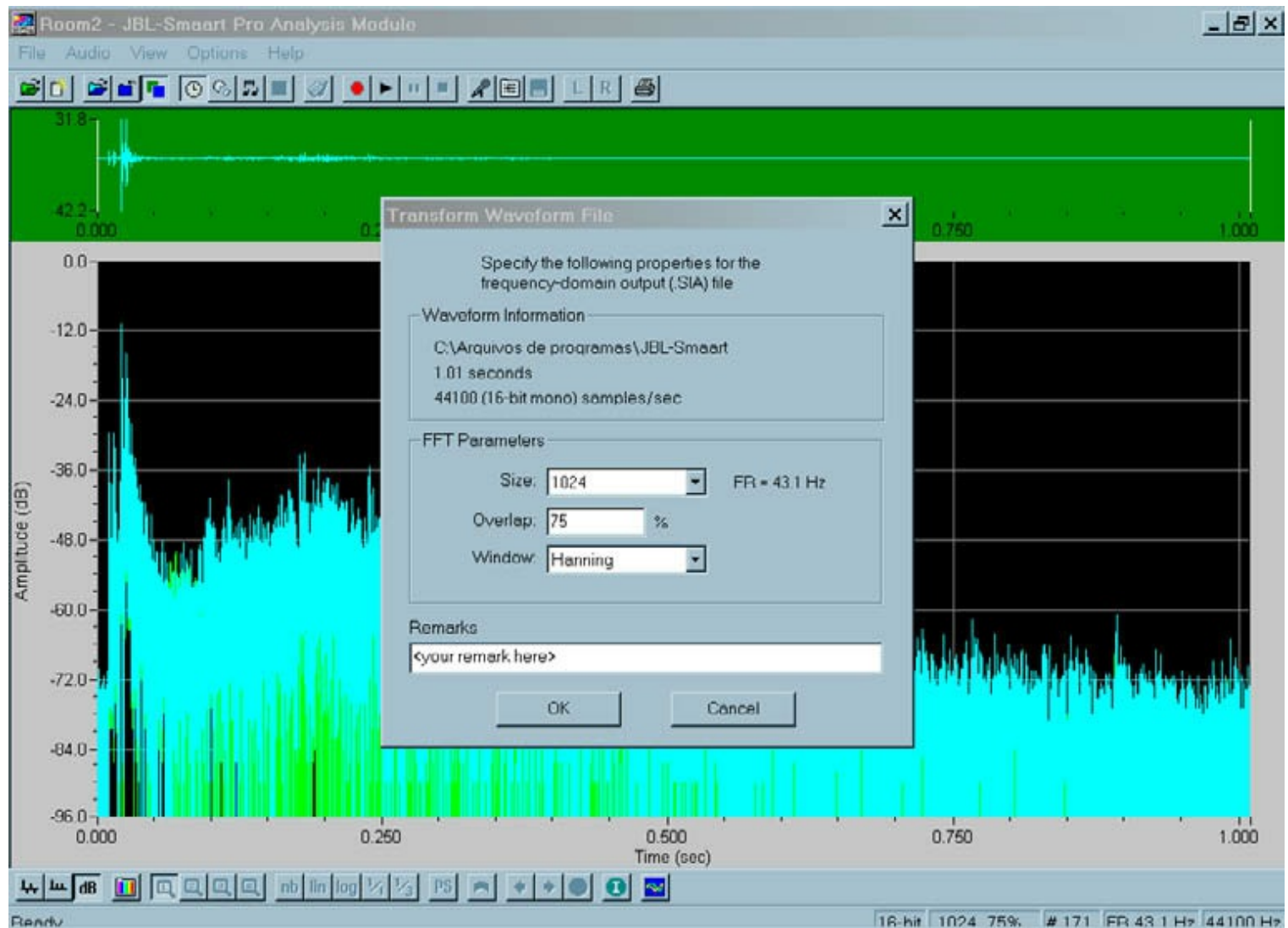


figura 12.51 caixa de diálogo para geração do arquivo wav transformado acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Aí, basta clicar OK e completar a transformação.

Ao final do processo a barra de status informa as opções feitas. Da esquerda para a direita, a resolução digital da amplitude (8 ou 16 bits), o FFT Size (quantidade de amostras), o percentual de overlap, a resolução de frequência de dados FFT e o SR.

Podemos entender o overlap como sendo a quantidade de dados que um quadro FFT compartilha com o quadro FFT anterior. Quando o overlap selecionado é zero, um quadro começa exatamente onde termina o anterior.

A figura 12.51 mostra a caixa de diálogo através da qual preparamos o Smaart para transformar o arquivo wav, instruindo com que parâmetros a transformação deve ser feita.

O terceiro bloco da barra superior de ferramentas tem 4 botões. O primeiro, com o desenho de um pequeno relógio, é o botão Time Display. Através dele o usuário consegue fazer com que apresentações em frequência voltem a ser no tempo.

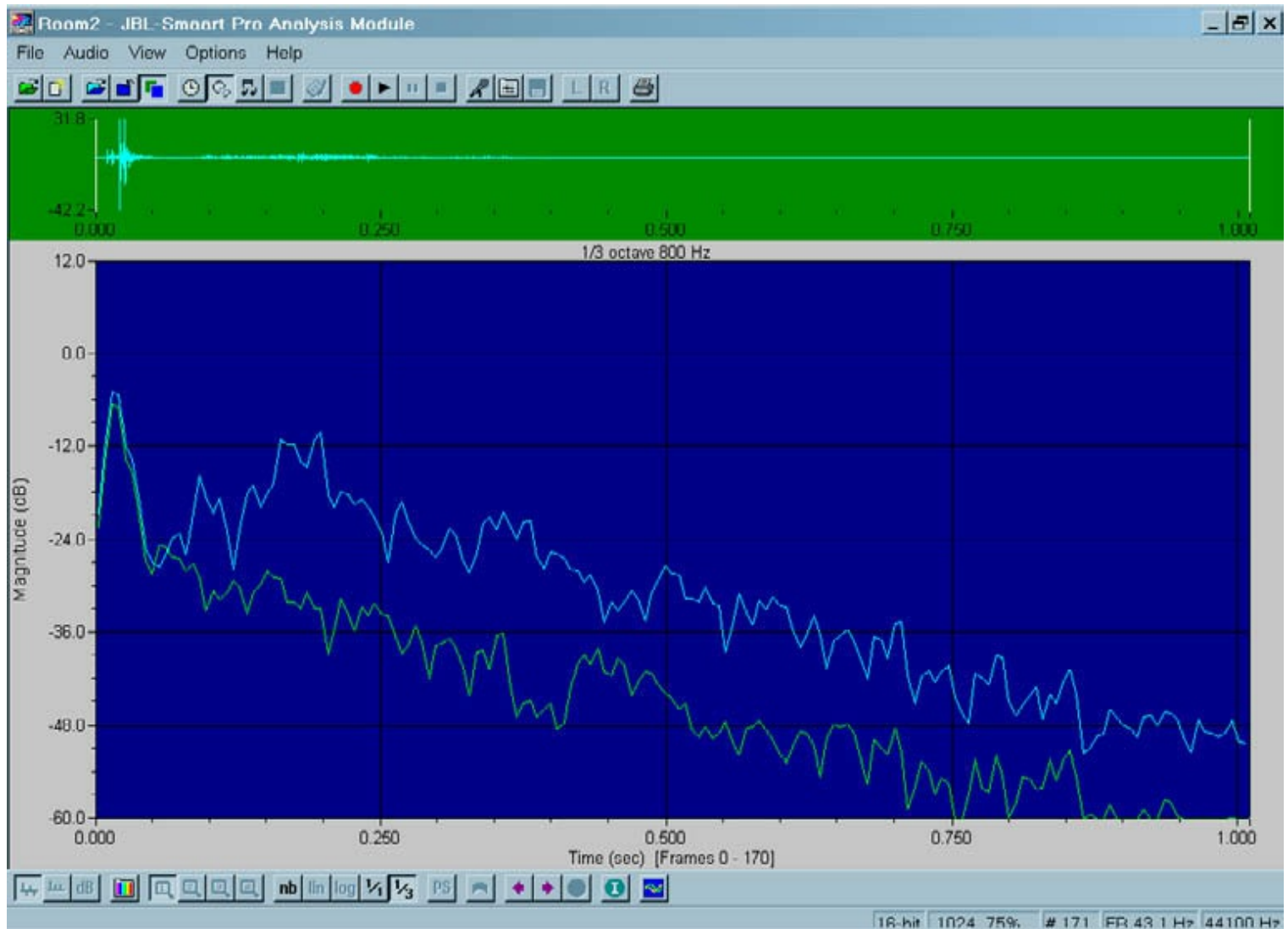


figura 12.52 traços time slice acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O único botão do sexto bloco da barra inferior de ferramentas, com a inscrição PS, é o botão Power Spectrum. Quando acionado, e o modo de operação for o Frequency Slice, a área do displêi apresentará um único traço, que é a média de todos os quadros FFT, ou apenas a média dos quadros que o usuário tiver selecionado. Como essas médias são RMS dos dados de frequência complexa, os valores apresentados são o espectro de potência.

O segundo botão do terceiro bloco da barra superior de ferramentas, o que contém um pequeno relógio com uma fatia quadrante deslocada para baixo e para a direita, é o botão Time Slice. E com ele se ativam funções das mais importantes do módulo Analysis.

Uma vez acionado o Time Slice, a representação passa a ser no tempo. Mas apenas para uma determinada gama de frequências, que pode ser facilmente selecionada.

A resolução “default” do programa é de uma oitava. As outras alternativas são terço de oitava e “narrow band”. Neste caso, narrow band (nb) significa apenas um único ponto FFT.

A seleção da resolução se faz através dos botões nb, 1/1 e 1/3 do quarto bloco da barra inferior de ferramentas. Com quaisquer resoluções podemos mover sequencialmente as frequências centrais das bandas de frequências para cima ou para baixo, através dos botões Next Slice e Previous Slice. Que são os botões com setas do sétimo bloco da barra inferior de ferramentas.

O quinto bloco da barra inferior de ferramentas tem um único botão, que é o Rainbow. Seu

desenho é o de um arco-íris estilizado. Quando acionado, a tela apresenta 2 ou mais traços Time Slice simultaneamente, como selecionado pelo usuário.

Como ilustra a figura 12.52.



figura 12.53 cálculo dos parâmetros de caimento de algumas bandas, com indicação do tempo de reverberação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Esses traços podem ser de bandas de frequências consecutivas ou não. O que se estabelece no menu Options da barra de menus.

Também é possível normalizar os traços. Ou seja, atribuir-lhes a mesma amplitude em qualquer ponto escolhido.

As funções Next Slice e Previous Slice são aplicáveis quando o botão Rainbow está ativo.

Quando o arquivo wav corresponde a uma resposta acústica de impulso, como por exemplo na figura 212, os traços Time Slice possibilitam a análise detalhada das quedas características de cada banda de frequências.

E isto é um instrumento poderoso para a avaliação das propriedades acústicas do espaço no qual o arquivo foi gravado.

Além disso, também podemos determinar manualmente a taxa de queda de cada banda de frequências.

Como ilustra a figura 12.53. Observe na barra mais baixa de toda a figura a indicação do tempo de reverberação de 1,3 segundos.

O terceiro botão do terceiro bloco da barra superior de ferramentas, com o desenho das notas musicais, é o botão Frequency Slice. Uma vez acionado, a área do displêi passa a apresentar informações de amplitude versus frequência, correspondentes ao primeiro quadro FFT. Simultaneamente, a área da forma de onda continua apresentando a forma de onda no domínio do tempo.

E a posição do primeiro quadro FFT é indicada na área da forma de onda por duas barras verticais de localização.

Se o usuário apertar a barra de espaço do teclado fará com que a informação da área do displêi seja a do próximo quadro FFT. No caso, o segundo.

E é possível prosseguir assim até chegar ao último quadro FFT.

Ao que vale dizer que esta ferramenta é um analisador de espectro quadro a quadro!!

Vejamos com alguns exemplos o extraordinário potencial dessa ferramenta. Começamos por analisar o conteúdo de frequências de um sinal.

Trata-se de um sinal de 1kHz, com forma de onda quadrada. É o que nos mostra a figura 12.54.

A representação da figura 12.54 é a estrutura própria de qualquer forma de onda quadrada, com sua fundamental e o trem de harmônicas de ordem ímpar, como vimos anteriormente.

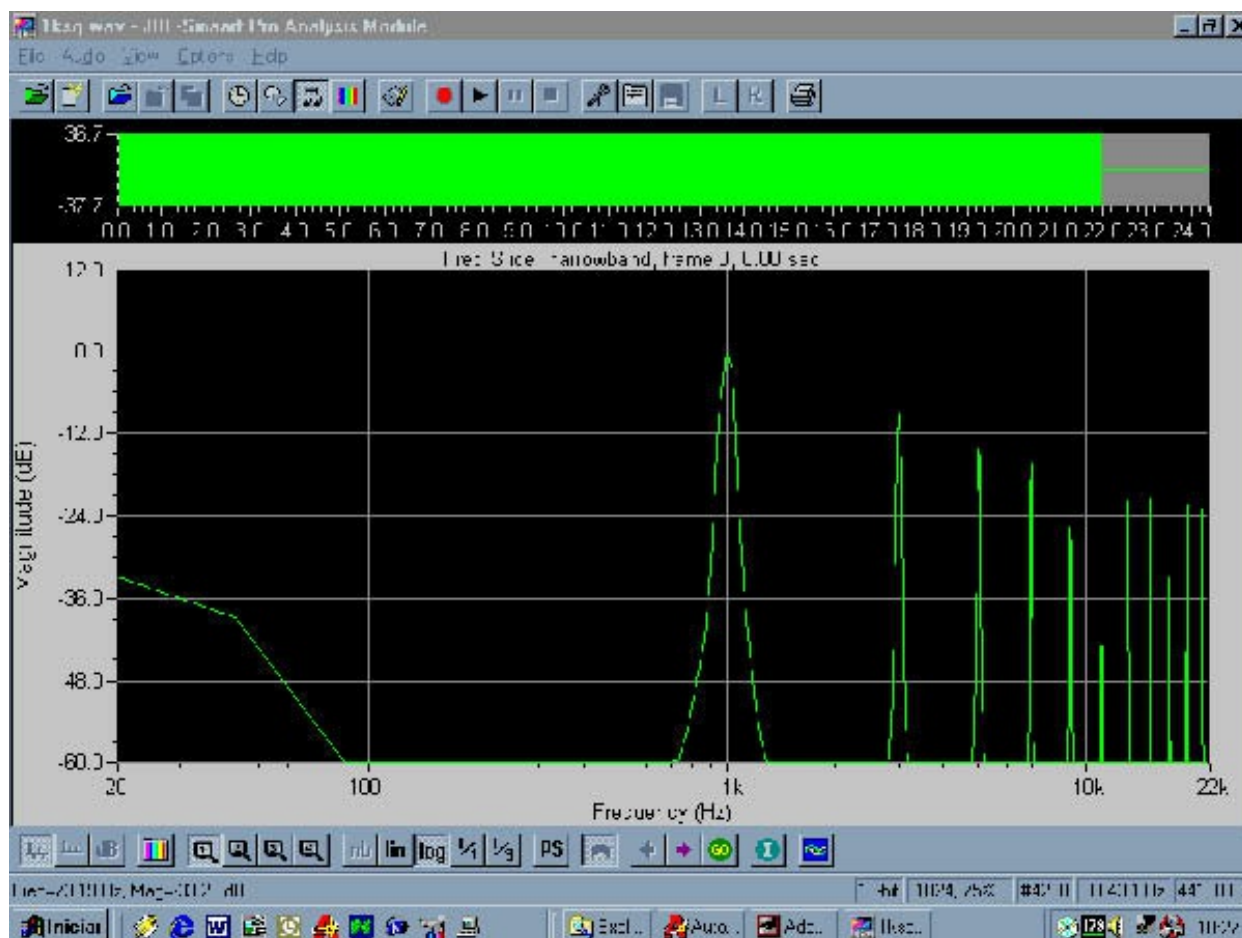


figura 12.54 análise do conteúdo de frequências e magnitudes de onda quadrada de 1 kHz acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

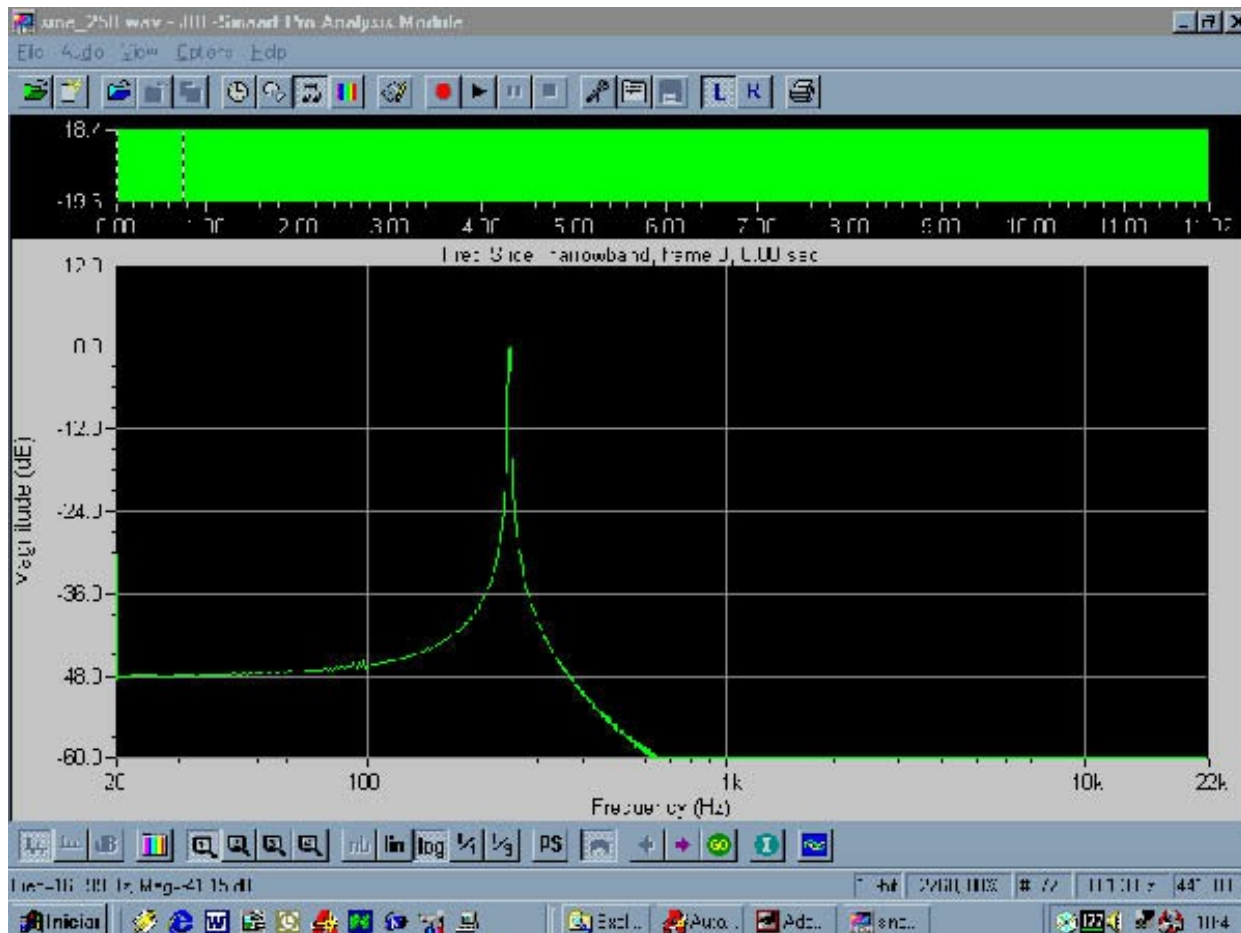


figura 12.55 análise do conteúdo de frequências e magnitudes de onda sinusoidal de 250 Hz acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 12.55 mostra análise semelhante, mas agora para sinal sinusoidal de 250 Hz.

A figura 12.56 mostra um sinal de teste para medição de Distorção por Intermodulação, sinal este composto por dois tons, um de 120 Hz e outro de 8 kHz, na proporção de 4:1. E esta figura nos remete de volta para o Time Slice.

O quarto é último botão do terceiro bloco da barra superior de ferramentas é o botão Spectrograph. Ele gera na tela uma análise do arquivo que é uma visão “topográfica” da forma de onda.

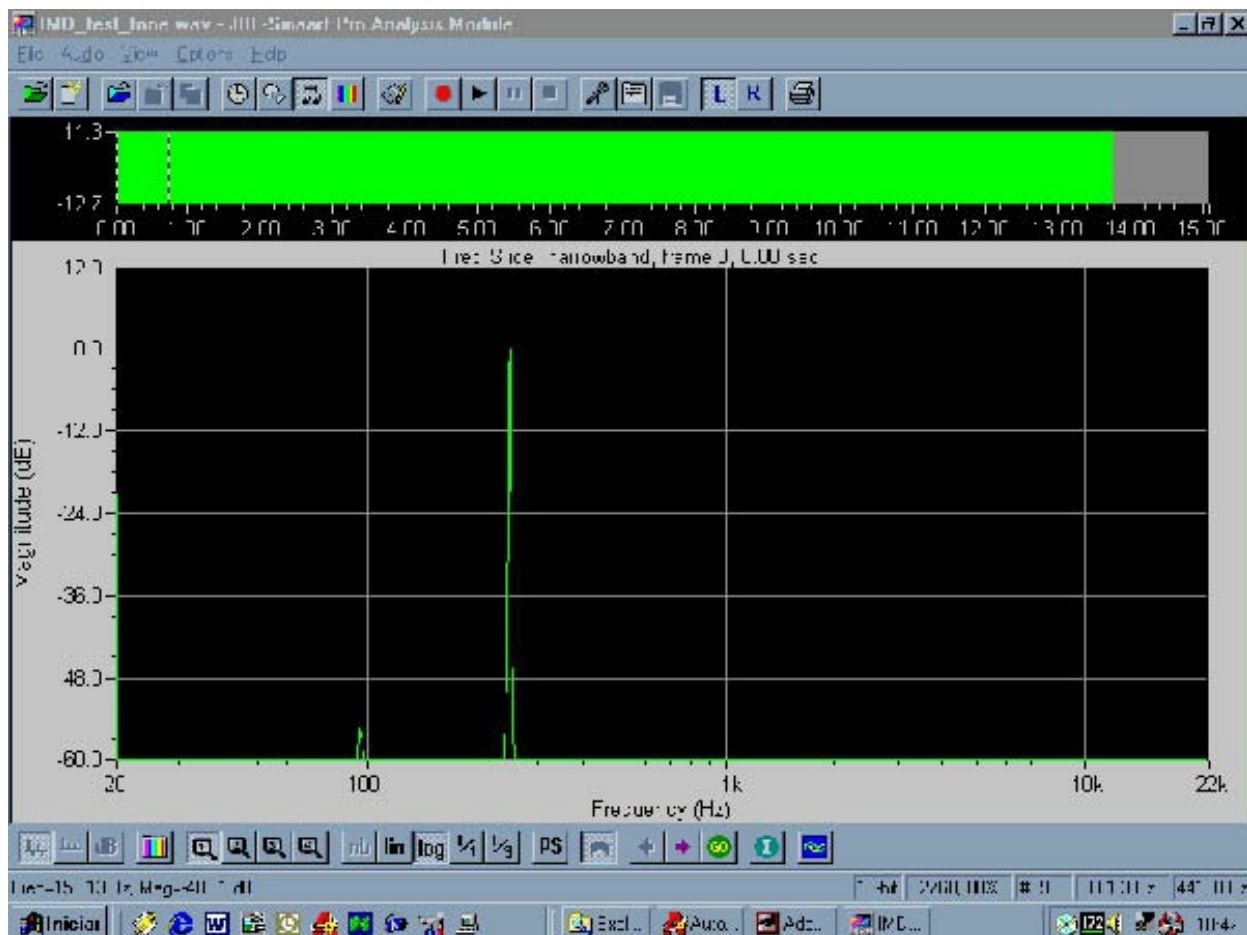


figura 12.56 análise de um sinal usado para medição de distorção por intermodulação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

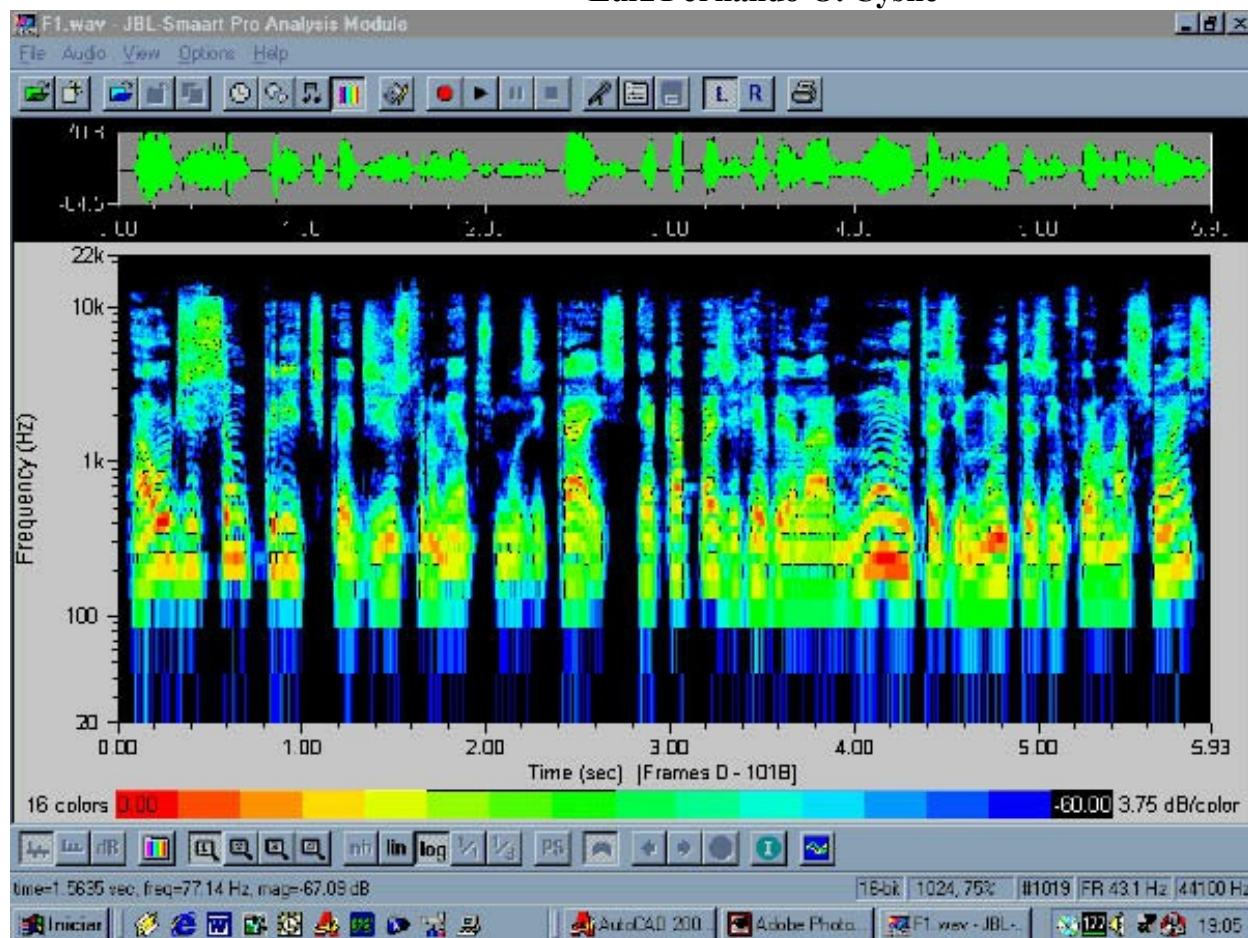


figura 12.57 espectrograma da locução “a acústica é uma ciência fácil” acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 12.57 ilustra o espectrograma da locução “A acústica é uma ciência fácil”. Arigor, este é um gráfico 3D no qual o eixo X representa tempo, o eixo Y representa frequência e as amplitudes são representadas por cores.

A quantidade de cores utilizadas, a gama dinâmica da apresentação e outras opções, podem ser feitas na correspondente caixa de diálogo, que se abre com o acionamento do único botão do segundo bloco da barra inferior de ferramentas.

Assim, um espectrograma é uma variação da representação “waterfall”.

Outra unção muito importante do módulo Analysis é a função Analyse.

Ela é acionada pelo único botão do quarto bloco da barra superior de ferramentas. O que tem um desenho de um bloco de notas com um lápis ao lado.

A rotina de análise calcula tempos de reverberação, tempos de queda de energia primária (EDT) e Índices de Claridade C10, C20, C50 e C80. Isto, para todas as bandas de frequências de oitavas ou de terço de oitavas.

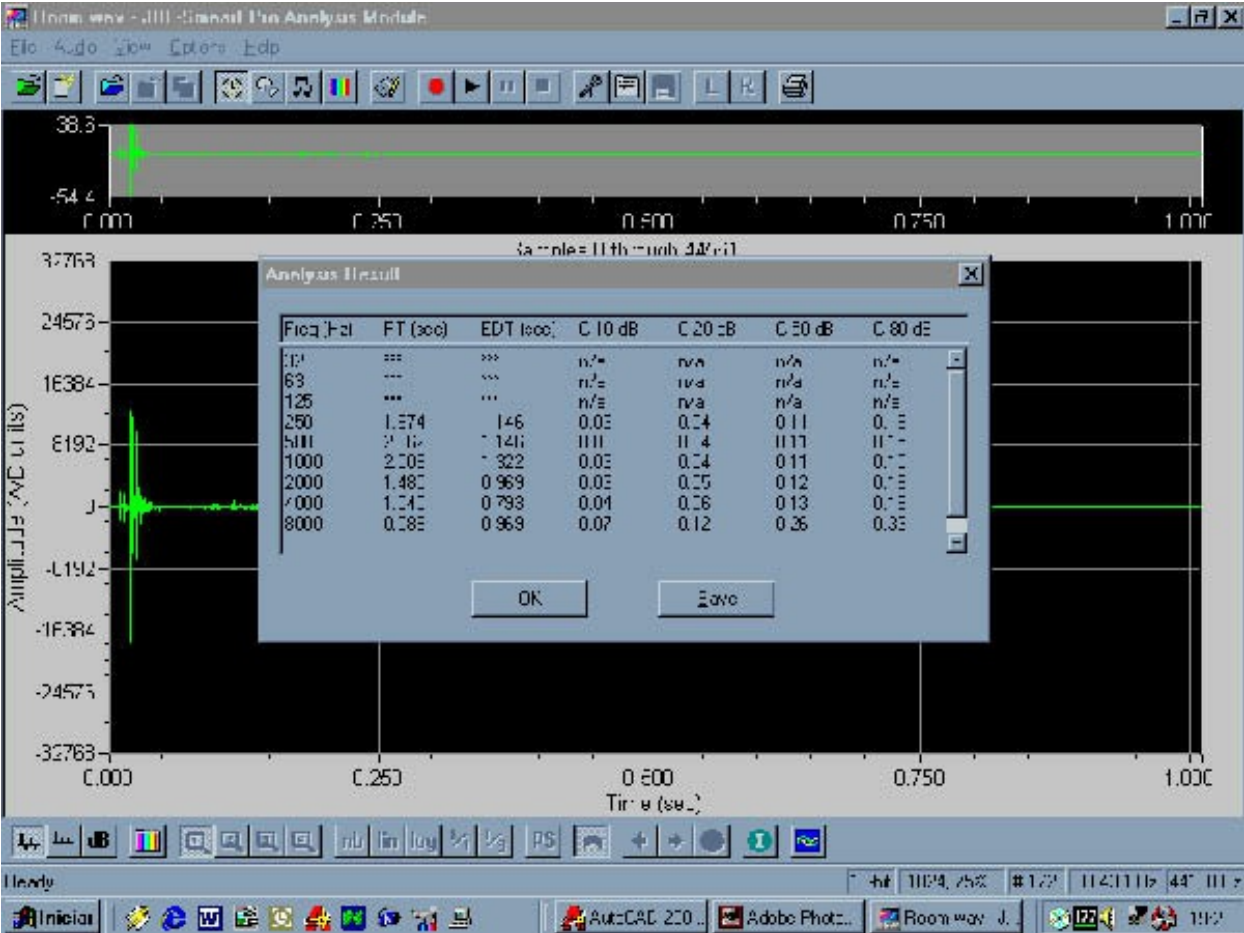


figura 12.58 resultado tabulado do procedimento “analysis”

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Acionado o botão Analyse, abre-se uma caixa de diálogo na qual o usuário especifica os parâmetros que serão utilizados nos cálculos. Que são a resolução (oitava ou terço de oitavas), a localização do pico em milissegundos, contados do início do arquivo, o início de contagem dos tempos para efeito de cálculos de tempos de reverberação, o próximo ponto de medida para os cálculos dos tempos de reverberação e o nível em decibels abaixo do piso para efeito de cálculo dos EDTs.

Como resultado, temos uma tabela como a da figura 12.58.

Valores que não podem ser calculados com a devida segurança, geralmente por insuficiência de gama dinâmica, são representados na tabela por três asteriscos (***)

O modulo Analysis permite ao usuário comparar com detalhes dois arquivos, tanto no

domínio do tempo quanto no da frequência. Portanto, este é um recurso muito útil para inúmeras investigações, a começar pela avaliação do tratamento acústico de qualquer ambiente fechado.

Para proceder a essas comparações é preciso carregar os dois arquivos que se quer comparar. O segundo arquivo é carregado com o auxílio do botão Open File 2, que é o botão da esquerda do segundo bloco da barra superior de ferramentas.

Carregado o segundo arquivo, seu traço passa a ser imediatamente visível. E para distingui-lo do traço do arquivo 1, as cores de ambos são diferentes. Por “default”, o traço do arquivo 1 é verde e a do arquivo 2 é azul.

O arquivo 2 pode ser fechado a qualquer momento através do botão Close File 2, que fica ao lado do botão Open File 2.

Uma vez carregado o arquivo, seu traço fica “na frente” do traço do arquivo 1. Isto é, em relação ao eixo Z. Para inverter essa ordem basta acionar o botão File 2 On Top, que é o terceiro botão do bloco.

O quinto bloco da barra superior de ferramentas possui 4 botões. O com o círculo sólido é o de gravação.

Ele abre uma caixa de diálogo que permite ao usuário gravar um arquivo wav em qualquer local desejado do HD.

E definir parâmetros como o nome do arquivo, selecionar entre mono e estéreo, ajustar níveis dos sinais de entrada provenientes da placa de som, selecionar a taxa de amostragem e escolher a resolução da gravação.

Ao lado do botão de gravação está o botão Play, com um triângulo sólido. Ele é usado para reproduzir quaisquer arquivos wav carregados. Ao lado deste fica o botão Pause e depois o botão Stop.

O sexto bloco da barra superior de ferramentas tem 3 botões.

Um com um microfone, que é o botão Live, o próximo que é o botão Live Options e o último, que é o botão Save Live Buffer.

O botão Live aciona o modo Live, ou ao vivo. Então, os dados apresentados na área do displêi não são mais os de quaisquer arquivos carregados, mas os dos sinais que chegam diretamente na placa de som e que são analisados em tempo real.

Durante o modo Live, apenas os displêis de tempo e a função Spectrograph estão disponíveis para uso. Todos os ajustes de parâmetros de processamento em tempo real são feitos independente de outros ajustes. Para tanto, é utilizada uma caixa de diálogo própria, acionada pelo botão Live Options.

Enquanto trabalha com informações ao vivo, o módulo Analysis retém dados numa

memória buffer, em caráter FIFO (First In First Out).

O tamanho da memória buffer é definida pelo usuário no quadro de diálogo aberto com o botão Live Options.

O botão Save Live Buffer abre uma caixa de diálogo do tipo “save as”, o que permite selecionar entre os canais esquerdo e direito de um arquivo wav com programa estéreo em 2 canais. Se há dois arquivos carregados, a seleção é individual para cada arquivo.

Ao lado deste bloco fica o último bloco, com um único botão.

Que é o de impressão.

E portanto, leva o símbolo característico de impressora. É através dele que o usuário pode imprimir suas telas.

O oitavo bloco da caixa inferior de ferramentas também tem um único botão, com a letra I. Este é o botão de informações dos arquivos.

Quando acionado, abre-se uma caixa de informações com os seguintes dados de arquivos: SR, resolução digital, tipo de arquivo (mono ou estéreo), nome do arquivo, comprimento do arquivo (quantidade de amostras) e comentários, se houver.

O último bloco, ao lado do anterior, com um só botão e duas ondas sinusoidais defasadas, fecha o módulo Analysis e volta ao módulo Real Time.

Mais recentemente a SIA, a empresa que sempre esteve por trás do Smaart, criou o SmaartLive 5 para substituir o módulo Real Time do Smaart Pro. Do mesmo modo, foi criado o AcousticTools 4 para substituir o módulo Analysis.

Como o SmaartLive 5 apresenta pouquíssimas modificações em relação ao módulo Real Time, exceto por profundas modificações gráficas. O mesmo ocorre com o AcousticTools 4 em relação ao módulo Analysis.

O AcousticTools 4 apresenta a capacidade de aferir vários indicadores da inteligibilidade da palavra. Logo que o AcousticTools foi lançado, muitos consideraram que essa capacidade era uma grande vantagem em relação ao módulo Analysis. Mas ocorre que bem antes disso, houve um upgrade no módulo Analysis que permitia exatamente fazer as medições de vários indicadores de inteligibilidade.

As figuras 12.59 a 12.63 dão uma ideia de como são o SmaartLive 5 e o AcousticTools 4.

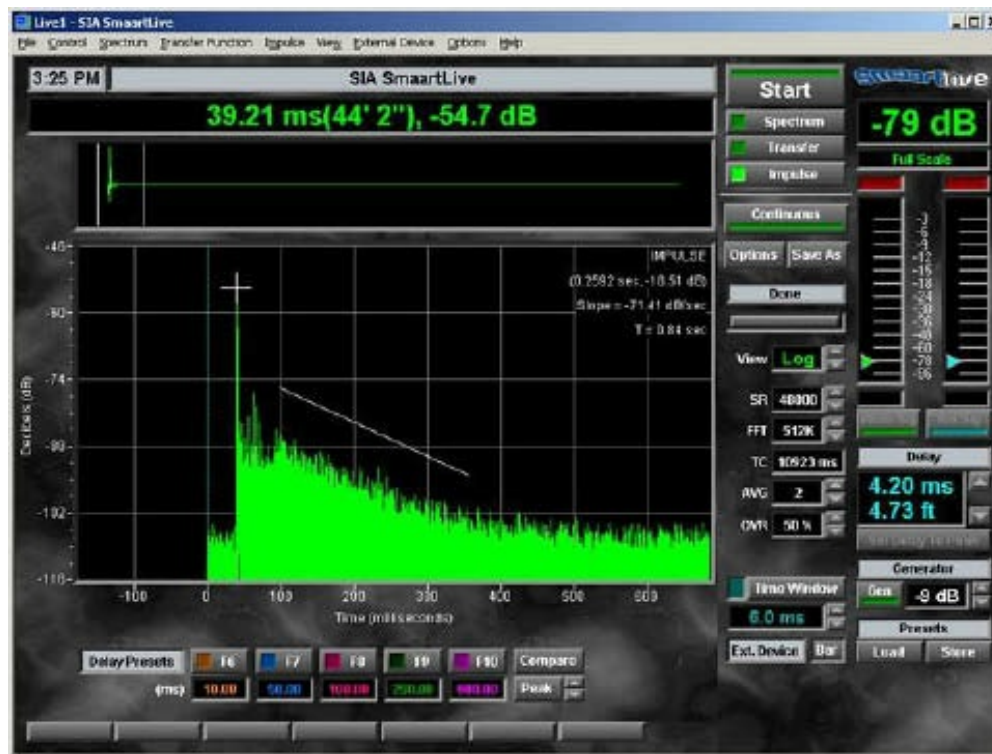


figura 12.59 tela mostrando arquivo de impulso e caimento no programa SmartLive 5 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

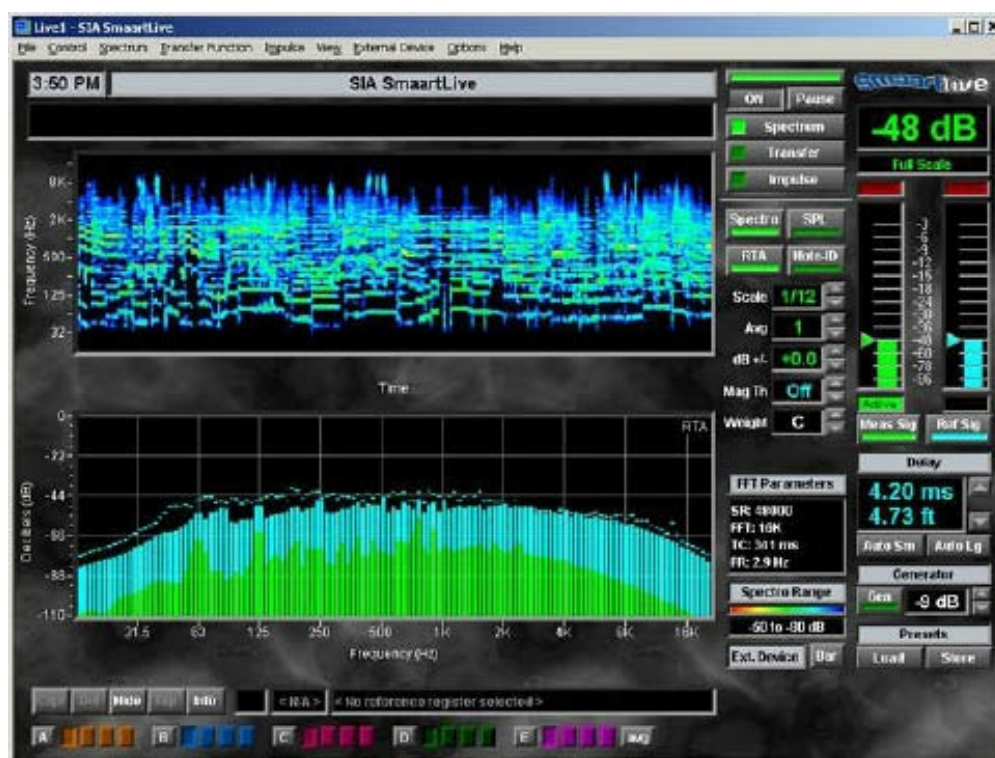


figura 12.60 tela do SmartLive 5 com espectrograma e análise em tempo real (1/12 de oitava) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 12.59 mostra que houve uma mudança radical na forma de apresentação do módulo Real Time para o SmartLive 5. A rigor, a mudança é muito mais cosmética do que qualquer outra coisa.

Se tivéssemos que apontar para uma grande diferença entre o Smart Pro e o SmartLive, poderíamos dizer que o analisador de espectro em tempo real é um pouco mais ágil, um pouco mais rápido e enquanto o primeiro só chegava à 1/6 de oitava, o SmartLive chega a 1/24 de oitava. A diferença de velocidade não chega a ser uma tremenda vantagem porque as velocidades dos PCs também entram nessa equação. Assim, um PC muito rápido operando com o Smart Pro pode bater um PC lento empurrando o SmartLive.

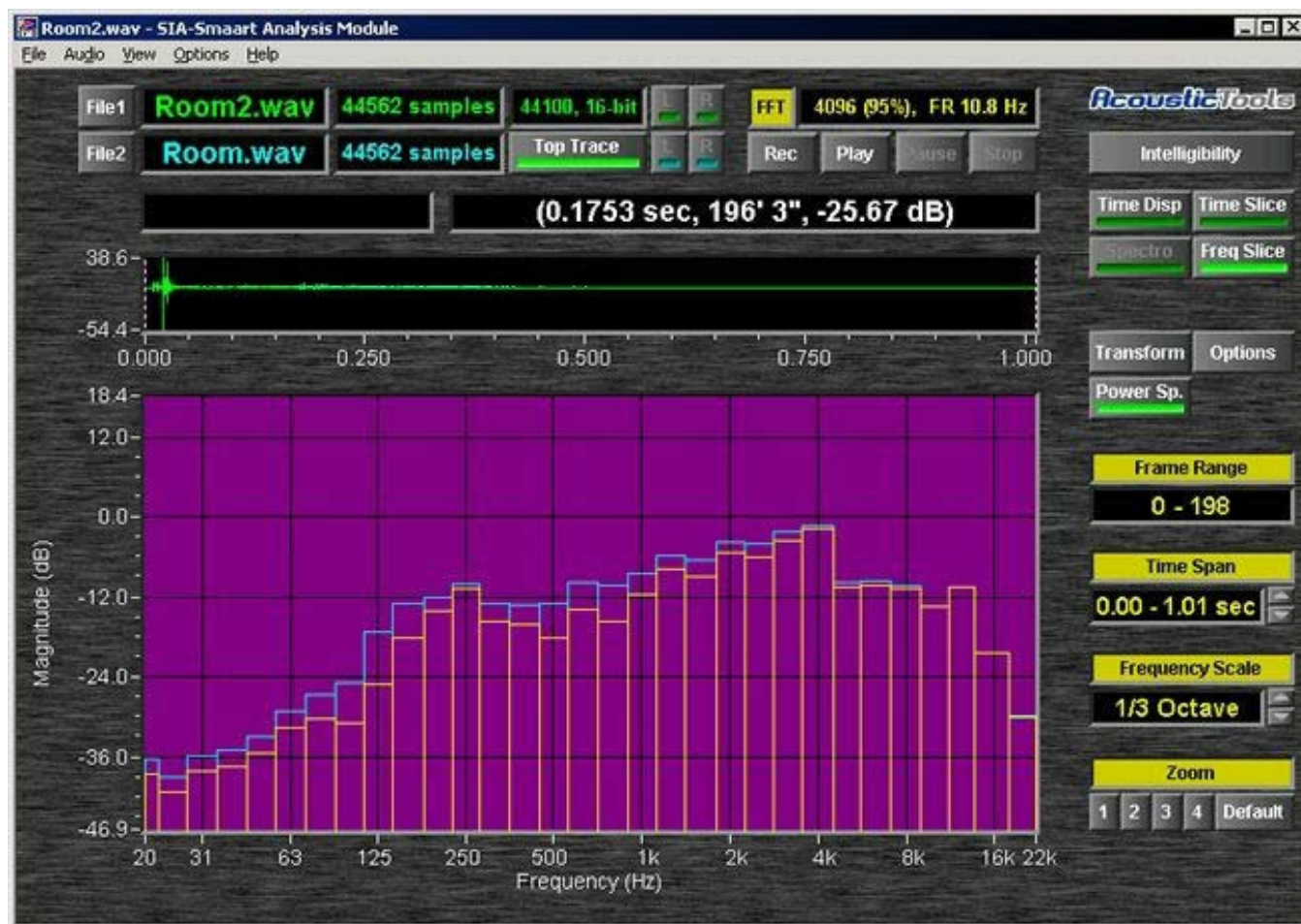


**figura 12.61 analisador de espectro de dois canais do SmaartLive 5
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne**



figura 12.62 time slice do AcousticTools com análise do decaimento acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Alguns recursos adicionais também incorporam o SmaartLive.

Um dos benefícios mais palpáveis que a tecnologia trouxe para ajudar o profissional do áudio na etapa da instalação é a possibilidade de se fazer medição da inteligibilidade da palavra numa sala ou num espaço qualquer.

Os princípios para isso são aqueles mesmos utilizados na técnica RASTI.

Muitas vezes a empresa que está instalando não efetuou o projeto de acústica. Outras, sim. Mas de uma maneira ou de outra, o importante é que a possibilidade de se fazer estas medições rapidamente e com acuidade nos permitem ajustar parâmetros, a exemplo da localização/orientação de clusters, de modo a chegar aos melhores resultados possíveis.

Quando a instalação é precedida por um dimensionamento eletroacústico, então já houve, previamente, uma figura calculada de inteligibilidade. Dada em termos RASTI, ou ALcons% ou qualquer outro índice. E é contra esse índice que devemos comparar as figuras produzidas pelas medições feitas com esse recurso.

A figura 12.63 mostra como podemos fazer a leitura dos resultados ALcons%, C35 e STI.

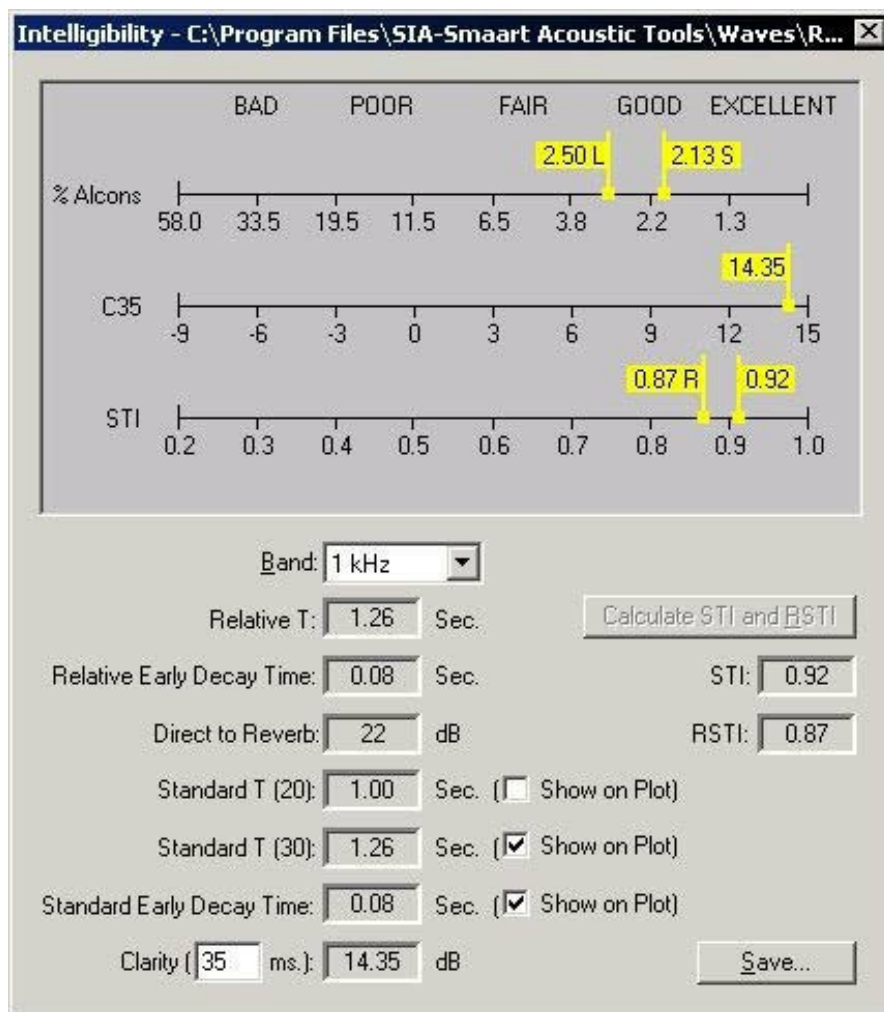


figura 12.63 tabela de cálculo do AcousticTools com dados dos indicadores de inteligibilidade acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 12.4.3 O Laud Audiosuite da Liberty Instruments Vou me deter um pouco mais neste software do que fiz com os anteriores. Meu propósito com isso é dar a você uma ideia bem clara do real poder de fogo de toda essa crescente família de ferramentas baseadas em software.

Que se não são exatamente baratas, certamente são um excelente meio termo entre o nada e a constituição de um laboratório convencional, formado de instrumentos de medida de boa lavra.

Inicialmente vamos rever alguns aspectos básicos relacionados com as medições objetivas aplicadas ao áudio.

Uma das coisas mais comuns que ocorre com qualquer engenheiro ou técnico de áudio é precisar saber exatamente como um transdutor, ou aparelho, ou sistema, altera as amplitudes das frequências que lhe são confiadas para processamento.

Diante disso, e sem se dar conta, o profissional geralmente utiliza qualquer técnica de medição consistente com suas necessidades. Imagine que queiramos averiguar melhor o comportamento de um equalizador quanto à maneira dele tratar as frequências. Então, podemos utilizar um gerador de áudio para injetar as frequências de interesse na entrada do aparelho, com as respectivas amplitudes mantidas sempre constantes, e medir as amplitudes dessas mesmas frequências na saída do aparelho.

Os resultados medidos podem ser representados num sistema de coordenadas cartesianas, com o eixo vertical graduado em volts, ou decibels, e o eixo horizontal graduado em frequências. O resultado gráfico certamente nos parecerá bastante familiar, pois estaremos vendo um gráfico comum de resposta de frequência.

Além de medir as amplitudes na saída do equalizador, também podemos medir as fases. E representar os resultados num gráfico semelhante ao anterior, com a diferença que o eixo vertical agora deve ser graduado em graus. Este é o gráfico da resposta de fase do aparelho.

Uma vez que os eixos horizontais desses dois gráficos são graduados em frequência, dizemos que os dados neles representados pertencem ao domínio da frequência.

Embora esta técnica de medição seja tradicional, e muito utilizada, não é a única que podemos utilizar.

Outra delas é a técnica de medição da resposta a impulsos. Assim, ao invés de injetar frequências na entrada do aparelho, uma a uma, injetamos um único sinal de teste. Que é um pulso de curtíssima duração, contendo as frequências de interesse. Todas coexistindo simultaneamente, e em fase.

A resposta do aparelho, presente em sua saída, é então continuamente medida por um certo tempo, estabelecido arbitrariamente. Para representar graficamente esses novos resultados medidos, é preciso que o eixo vertical do gráfico seja graduado em volts, ou decibels, enquanto o eixo horizontal deve representar tempo, em segundos, ou submúltiplos. Por isso, esses dados pertencem ao domínio do tempo.

Se medirmos o mesmo aparelho inicialmente com a primeira técnica discutida, e depois com a segunda, e representarmos os dois conjuntos de medidas graficamente, certamente teremos cenários visuais completamente diferentes. Contudo, é certo que teremos medido o mesmo comportamento do mesmo aparelho. O que nos leva a concluir que estamos lidando com informações iguais, ou muito semelhantes, mas com formas diferentes. Pensando assim, não deve ser difícil aceitar que essas informações são equivalentes e conversíveis.

No caso, equivalentes significa que as informações se referem ao mesmo fenômeno. E conversíveis porque é possível partir de um conjunto de dados pertencentes ao domínio do tempo para chegar a outro conjunto, equivalente ao primeiro, cujos dados são pertencentes ao

domínio da frequência. E vice-versa.

Quando testamos um aparelho, como um equalizador ou amplificador, devemos medir e comparar as magnitudes dos sinais presentes na entrada e na saída. O que, com técnicas convencionais, se faz com instrumentos apropriados, também convencionais, e pontas de prova. Que é o nome sofisticado para um pedaço de condutor elétrico com um ou mais conectores em cada extremidade, cuja função é ligar cada ramo da entrada e da saída do aparelho ao instrumento de teste.

Por outro lado, se queremos medir a resposta de frequência de um alto-falante, devemos utilizar um microfone de teste para ler a resposta do transdutor. E é o microfone, geralmente calibrado, que alimenta o instrumento de medição. O mesmo procedimento é usado para outras medições, por exemplo, quando queremos medir a resposta de frequência numa sala.

Quando medimos aparelhos, estamos fazendo medições elétricas. E quando lançamos mão de um ou mais microfones de teste, estamos fazendo medições acústicas.

Colocadas essas ideias fundamentais, vamos falar do Audiosuite da Liberty. Que pode ser descrito como um interessante grupo de instrumentos de testes de altíssima performance, implementados por software. Portanto, para funcionar, ele precisa ser instalado num microcomputador tipo PC.

O produto é vendido na forma de disquetes contendo o software principal, uma placa de som Turtle Beach Pinnacle/Fidji, essencial para a operação do soft, e correspondentes disquetes de instalação, um microfone de teste e seu disquete de calibração, além de algumas pontas de prova especiais.

O Audiosuite também suporta outras placas de som, desde que sejam PSA tipo DSP.

Você instala o software principal, a placa de som, gasta um tempinho com as configurações iniciais, e presto. Já pode utilizar os cinco instrumentos principais que integram o Audiosuite, que são:

- MLS/FFT

- SINE ANALYZER
- SCOPE
- SPECTRUM ANALYZER
- DISTORTION ANALYZER

12.4.3.1 O Instrumento MLS/FFT

A seguir, vamos discutir alguns aspectos essenciais para que você realmente tenha condições de compreender bem como trabalha o instrumento MLS/FFT. Em minha opinião, o mais sofisticado deles. MLS é abreviatura para Maximum Length Sequence, e FFT é abreviatura para Fast Fourier Transform. Para mais dados a respeito, por favor, consulte o

apêndice H.

As medições feitas com pulsos convencionais apresentam uma grande desvantagem em relação às medições contínuas, feitas com ondas sinusoidais. É a alta vulnerabilidade aos efeitos dos ruídos. A razão primária disso é a duração muito curta dos pulsos, que acaba por limitar bastante seu conteúdo de energia.

Vejamos isso melhor. Dadas os tipicamente longos comprimentos de onda das baixas frequências, para medir a região inferior do espectro de um aparelho, partindo de pulsos, o instrumento de teste precisa medir a resposta na saída por um tempo consideravelmente longo em relação ao tempo de duração do pulso. Dessa forma, enquanto os ruídos se manifestam durante todo o tempo de medição, a energia do pulso, já débil por natureza, se manifesta por um tempo consideravelmente inferior.

Isso cria um mecanismo de contaminação de ruídos que atinge tanto as medições elétricas quanto as acústicas. E se faz sentir especialmente nas medições das partes inferiores do espectro.

A solução mais comum para contornar o inconveniente, possível quando o instrumento é de dois canais, como o Audiosuite, consiste em utilizar um filtro na entrada do aparelho que se quer medir, de modo a alterar o caráter do pulso. A ideia é aumentar o conteúdo das baixas frequências em relação ao das altas. Ou seja, queremos nos valer de simples filtro passa baixas. Tipicamente de 3,0 dB/oitava. Como um filtro de ruído rosa.

Por si só, esta simples manobra já permite aumentar consideravelmente a relação sinal/ruído, onde ela é mais crítica. Por outro lado, os instrumentos de dois canais obtêm a medição desejada por diferença de medida entre os sinais na entrada e os na saída. Como os efeitos do filtro afetam igualmente entradas e saídas, eles são automaticamente cancelados.

Essa técnica poderia, e pode, ser empregada no Audiosuite.

Outra forma de atacar o mesmo problema é repetir os pulsos seguidamente na entrada do aparelho que se quer medir, e ir calculado os valores médios das respostas medidas em sua saída.

A energia dos pulsos que se repetem é praticamente constante, enquanto a dos ruídos mostra-se bastante variável com o tempo. Esse pequeno detalhe é passível de processamento matemático, que se feito adequadamente, permite que o nível dos ruídos seja rejeitado. Tanto mais quanto mais repetições houverem. Numa taxa que se aproxima dos 3,0 dB para cada vez que se dobra a quantidade de repetições.

Um dos problemas de se repetir os pulsos com a velocidade adequada é a imperiosa necessidade de elevada capacidade computacional. O que não constitui qualquer problema para o Audiosuite, que já se vale dos préstimos de um computador. Apenas para constar, o

Audiosuite trabalha com pulsos convencionais, e também, com a técnica de redução de ruídos por sequência de pulsos.

Mas o instrumento MLS/FFT ainda oferece uma outra solução para reduzir ruídos, ao mesmo tempo elegante e muito sofisticada. Em essência, o processador MLS comprime matematicamente o que seria o equivalente a milhares de sequências de eventos pulsos-cálculos de média, concentrando tudo isso numa única aquisição. Nesta solução, os sinais de teste também não são pulsos puros, como vimos há pouco. Mas uma forma peculiar de sinal, denominada ruído pseudo-aleatório. Sonicamente, este sinal está muito mais para um ruído tipo “hiss” do que para o “tique” característico de um pulso puro e de curta duração.

A resposta do aparelho a esse sinal de teste, que está sendo medida, é contínua e rapidamente convertida no equivalente a uma efetiva resposta a pulso. Tal conversão é possível graças a uma rotina que faz parte do programa, capaz de rodar em altíssima velocidade, chamada Transformada Hadamard.

Como disse, o Audiosuite também permite que os pulsos sejam utilizados como sinal de teste. Mas não vejo qualquer razão para isso, uma vez que os ruídos pseudo-aleatórios oferecem alta velocidade de processamento combinada com excelente imunidade contra ruídos.

Vejamos então o que se pode fazer com o instrumento MLS/FFT.

De cara, ele possibilita fazer várias medições elétricas e acústicas.

magnitude e fase

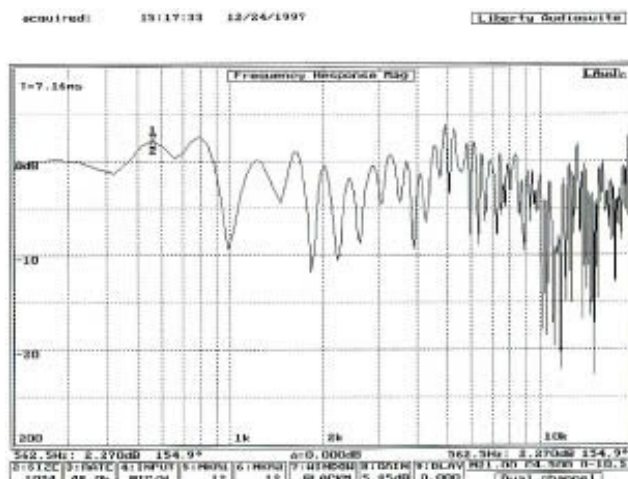


figura 12.64 resposta de frequência de pequena caixa acústica de 3 vias acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vamos começar com as respostas de magnitude e de fase.

Como o instrumento é de dois canais, podemos trabalhar no modo 1 ou 2 canais.

A figura 12.64 mostra a resposta de frequência de uma pequena caixa acústica de 3 vias, medida em meu laboratório.

Portanto, uma medida acústica. No caso, utilizei o microfone de teste do Audiosuite, devidamente calibrado.

Utilizei o modo 1 canal, e estabeleci que o aparelho fizesse a medição apenas 200 Hz a 2 kHz.

Naturalmente, é possível fazer a medição a partir de 20 Hz, e mesmo fazer medições com quaisquer segmentos do espectro.

Tudo o que temos a fazer é especificar quais são as frequências limites que queremos. Esse recurso é muito útil quando precisamos investigar com mais detalhes uma determinada região, como por exemplo quando trabalhamos com subwoofers, e queremos medir especificamente o segmento de 20 Hz a 100 Hz.

Também podemos utilizar o modo 1 canal para representar a resposta de fase. Ou podemos utilizar o modo 2 canais para representar simultaneamente as respostas de frequência e de fase. Como na figura 12.65, que neste caso apresenta valores quaisquer, com finalidade exclusiva de ilustração. Vemos então que a parte superior da figura mostra a resposta de fase, e a parte inferior a resposta de frequência.

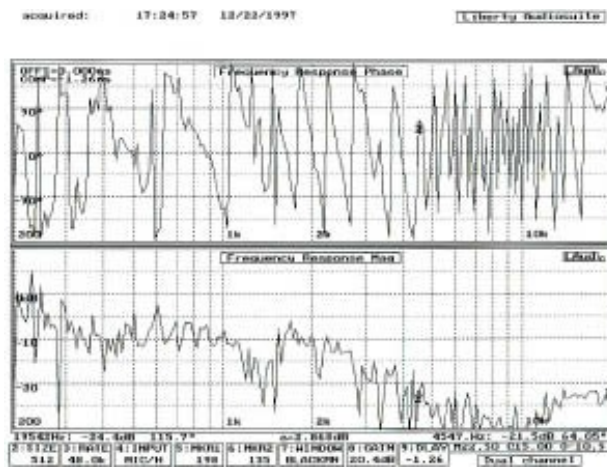


figura 12.65 respostas de frequência e de fase acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne medições quase anecóicas Com o MLS/FFT também podemos fazer quaisquer medições quase anecóicas de falantes e de caixas acústicas, sem que tenhamos que investir um centavo numa câmara anecóica.

A forma preferida de se obter esse tipo de medição é usando ondas sinusoidais, e Espectrometria por Atraso de Tempo, ou EAT, como discutido no apêndice D.

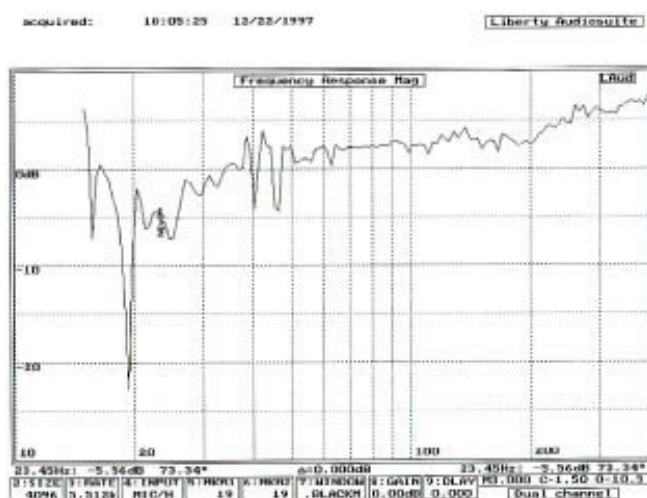


figura 12.66 resposta de frequência quase anecóica de um woofer de 15 polegadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Entretanto, a utilização de EAT no Audiosuite iria requerer uma capacidade computacional monstruosamente grande. Portanto, o projetista do software optou por outras fórmulas. No caso do instrumento MLS/FFT, há diferentes níveis de sofisticação possíveis para se evitar a EAT. Iniciando com a medição de uma simples resposta de pulso, e chegando até os testes de correlação calcados numa “Maximum Sequence Length” de 16.383 pontos. O importante é que o projetista encontrou meios válidos para captar o sinal direto proveniente do microfone, e de identificar e remover os efeitos das reflexões secundárias.

A representação gráfica destes cálculos ainda é uma resposta de frequência. Como ilustra a figura 12.66. Como esta medida corresponde a um woofer de 15 polegadas, trabalhei com o espectro de 10 Hz a 300 Hz.

O usuário pode mudar com facilidade os parâmetros de suas medições ao empregar esse software. Entre esses parâmetros está a banda de áudio com a qual queremos trabalhar, estabelecendo seus limites inferior e superior.

Além desse parâmetro há outros que o usuário deve estar preparado para alterar. Ao final dessa rápida etapa de escolhas, o trabalho em si pode começar. Mas ele é sempre muito rápido.

parâmetros Thiële-Small Também é possível medir com muita precisão os parâmetros

Thiële-Small de qualquer falante em questão de segundos. Sem que tenhamos que informar praticamente qualquer dado do produto.

Inicialmente medimos $Q_e, Q_m, Q_t, e f_s$. A seguir, temos duas alternativas para medir V_{AS} . Ou usar uma caixa fechada padrão, ou adicionar massa ao cone. E nessa sequência, o programa também já nos medirá o produto BL (em Tesla-metro), a compliância, a massa dinâmica, e a eficiência referência.

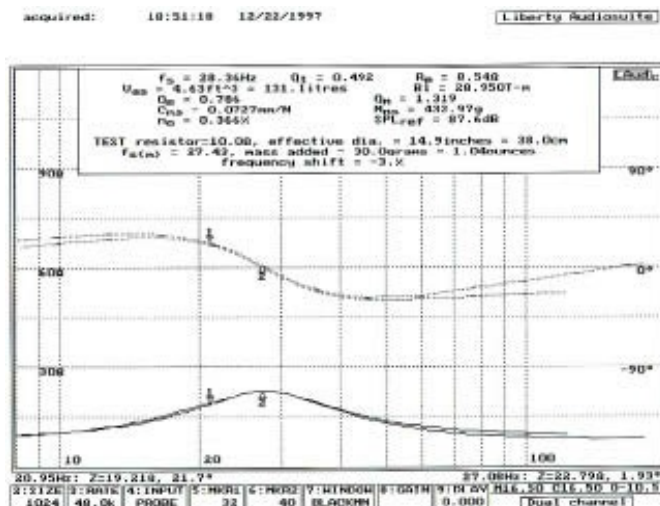


figura 12.67 levantamento dos parâmetros Thiële-Small de um woofer de 15 polegadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para fazer estas medidas, escolhi o mesmo woofer de 15 polegadas que já tinha usado no caso das medições quase anecóicas, e optei pelo método do aumento da massa do cone, trabalhando com massa adicional de 30 gramas.

Os resultados são apresentados na tela do computador como mostra a figura 12.67.

Observe no quadro superior os valores de todos os parâmetros calculados. Isto é, f_s , Q_t , R_e , V_{AS} , o produto BL, Q_e , Q_m , C_{ms} , M_{ms} , η_0 e SPL_{ref} além dos dados que forneci, indicados na parte inferior da janela. Lá estão o valor do resistor de referência, no caso 10 Ω , o diâmetro efetivo do falante, um novo valor de f_s calculado para a condição de massa adicionada ao cone, e o valor da massa que adicionei. O programa também informa qual foi o deslocamento percentual da frequência de ressonância, neste caso específico, - 3%.

impedâncias complexas Outra coisa que se pode medir rapidamente com o MLS/FFT são impedâncias complexas. Isto é, obtemos a curva do módulo da impedância e a curva do ângulo de fase. Nesta medida, você pode escolher um espectro mais amplo, para ter uma melhor visão de conjunto, ou um espectro reduzido, útil para analisar mais detalhadamente os fenômenos naquela região.

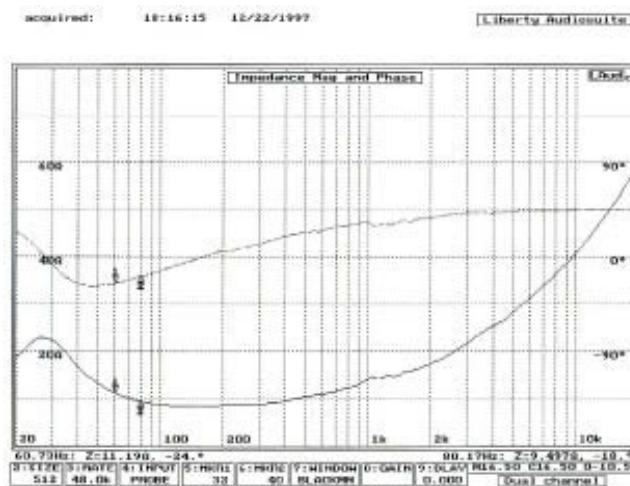


figura 12.68 curva do módulo de impedância e de fase de um woofer de 15 polegadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 12.68 mostra a curva do módulo da impedância, e a curva de fase, ainda calculadas para o mesmo woofer de 15 polegadas. Posicionando os marcadores 1 e 2 (que aparecem junto aos triângulos) sobre quaisquer locais das curvas, você pode ler os correspondentes valores precisamente, bem acima do conjunto de janelas que aparece na parte inferior da figura.

ETC (Energy Time Curve) A figura 12.69 mostra o resultado de um processamento ETC.

Esse recurso é extremamente útil durante análises acústicas mais profundas, por vários motivos. Entre os quais destaco apenas dois.

O primeiro é que podemos obter essas análises para todo o espectro, como na figura 12.51 (de 20 Hz a 21,6 kHz), e também, individualmente para cada oitava. O segundo é que cada gráfico ETC nos permite visualizar informações semelhantes às da figura 3.35, todas com excepcional conteúdo de informações e aspectos muito reveladores das características acústicas dos locais analisados.

Se quisermos estudar a acústica de uma sala de música quanto à textura dos sons, precisamos determinar os padrões de reflexão do local. E levantar gráficos como os da figura 5.19 do capítulo 5.

Então, podemos usar o recurso ETC do MLS/FFT, e proceder como indicado no capítulo 5.

Desse modo, as curvas ETC são muito úteis auxiliando a investigação detalhada e reconhecimento de reflexões numa sala, em quaisquer condições.

Outra coisa que elas permitem, é a verificação clara das reflexões indesejáveis havidas em superfícies de caixas acústicas, como discutimos no item 6.4.2.9 do capítulo 6.

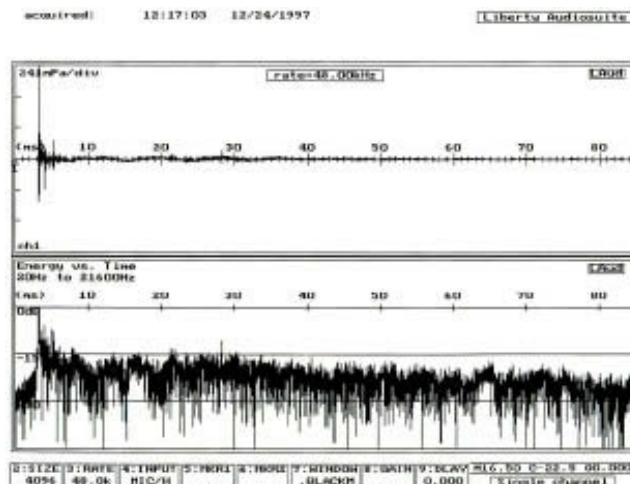


figura 12.69 curva ETC abrangendo todo o espectro de áudio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne RT60 (Tempo de Reverberação)

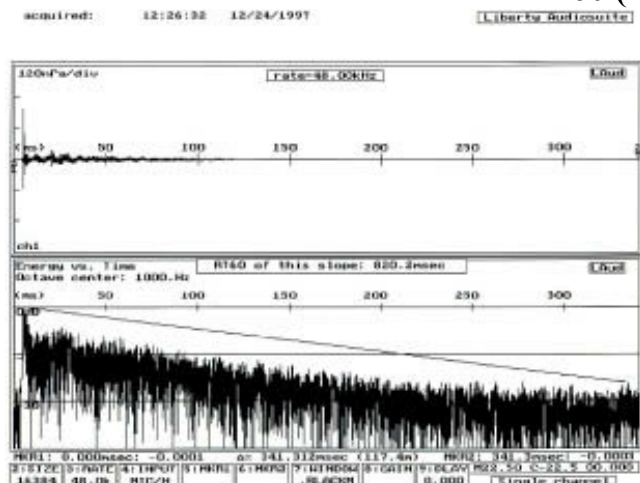


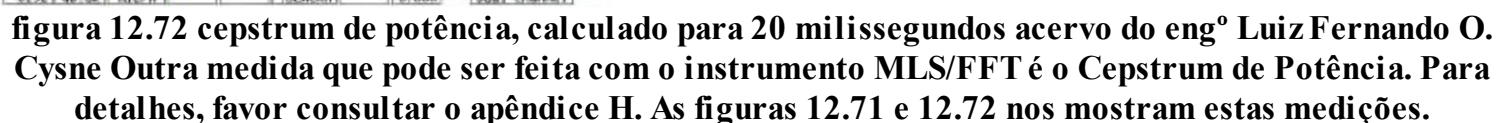
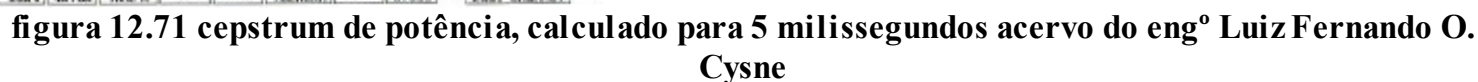
figura 12.70 curva ETC de banda de oitava centrada em 1 kHz, com indicação do tempo de reverberação calculado (0,82 segundos) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
A figura 12.70 mostra outra curva ETC, agora calculada para uma banda de oitavas, centrada em 1.000 Hz, e com tempo mais longo que no caso anterior.

A partir dela, podemos usar o mouse do computador para levar o marcador 1 até o pico que mostra o recebimento do sinal direto, próximo do início de contagem de tempos, e o marcador 2 para qualquer outro pico, de preferência o mais afastado possível do primeiro.

O programa traça uma reta entre ambos, e uma janela informa diretamente o tempo calculado. No caso, 820,2 milissegundos, ou em números mais redondos, 0,8 segundos.

Essa medição foi feita numa das salas de meu escritório, que por diversos outros processos, inclusive o manual, calculei sempre o mesmo tempo de reverberação. Isto é, todas as medidas estão mesmo por volta dos 0,8 segundos.

cepstrum de potência



Do ponto de vista de sistema eletroacústico, a utilidade do Cepstrum que mais salta à vista é seu grande poder de indicar claramente as reflexões das salas. Que ficam correlacionadas com os picos indicados nos gráficos. Para tanto, precisamos trabalhar com tempo bem superior aos 5 milissegundos do caso anterior. Como um processamento de no mínimo 20 milissegundos, como mostra a figura 12.72.

Os picos da figura revelam variações elementares da resposta de frequência eletroacústica, e consequentemente, os efeitos das reflexões havidas nas superfícies da sala.

Quedas Espectrais Cumulativas (ou Waterfall) Outro recurso muito útil do instrumento MLS/FFT é a possibilidade de mostrar graficamente quedas espectrais

cumulativas, popularmente já batizadas de waterfall (queda d'água). O aspecto típico é o da figura 12.73.

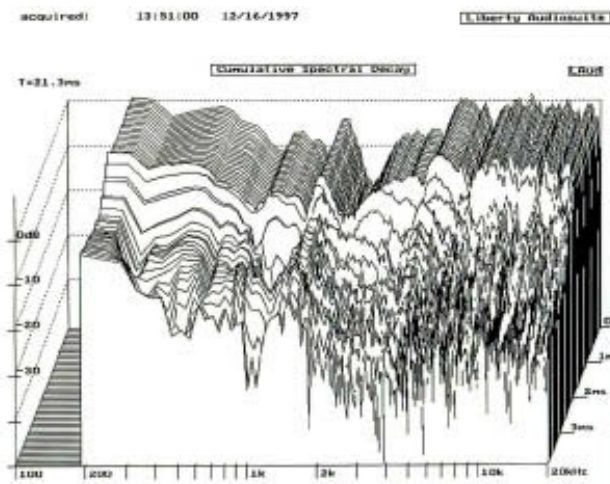


figura 12.73 queda espectral cumulativa (waterfall) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Observe que o eixo horizontal é graduado em frequência. O vertical em decibels, e o terceiro eixo (Z), na parte direita e inferior da figura, é graduado em milissegundos, contados a partir do fundo da figura.

Esta é essencialmente uma medição acústica.

E o que as curvas nos mostram é uma longa série de respostas de frequência, que se sucedem no tempo.

A semelhança entre a primeira resposta de frequência (instante 0) e a apresentada na figura 12.46 não é mera coincidência. Ela ocorre porque este waterfall foi calculado a partir daquela resposta de frequência.

Se as condições acústicas do local testado fossem ideais, todas as respostas apresentadas seriam praticamente as mesmas, apenas caindo de intensidade como um todo, ao longo do tempo, de maneira bem homogênea.

Mas vemos que no mundo real a queda é muito mais pronunciada em algumas regiões do espectro do que em outras, ao longo do tempo. Quando o tempo estabelecido no eixo Z é reduzido, como no caso da figura 12.73, as anomalias devem-se principalmente a imperfeições dos falantes, cujas respostas a impulsos não são exatamente os impulsos originais.

Quando o tempo de análise é maior, digamos acima de 500 milissegundos, as anomalias podem ser debitadas às características acústicas da sala, como tempos de reverberação diferentes para as várias regiões do espectro, e principalmente, os efeitos altamente prejudiciais das ondas estacionárias.

Pode-se determinar aproximadamente a responsabilidade que cabe ao tempo de reverberação, e a que cabe às ondas estacionárias, por análise complementar, envolvendo o Cepstrum de potência e as curvas ETC.

Realmente, em conjunto, essas informações são de um poder de avaliação extraordinário.

Muitos usuários que começam a usar tais programas me informam que estão enfrentando dificuldades “quase intransponíveis”. Encorajo essa gente a não esmorecer, porque a quebra da

inércia chega. Então, de uma hora para outra, todas essas pessoas, sem exceção, passam a dominar os programas e então começam a usufruir os benefícios tão almejados.

capacitâncias e indutâncias Finalmente, o instrumento MLS/FFT possibilita a medição de capacitâncias e de indutâncias, com conteúdo de informações bem superior ao oferecido por uma ponte LC, ou LCR convencional.

A obtenção destas informações é imediata, e calculada pelo instrumento a partir das curvas de impedância complexa.

Basta posicionar os marcadores 1 e 2 nos locais desejados, e os números podem ser lidos diretamente numa janela para tanto existente na tela do computador.

12.4.3.2 O Instrumento Sine Analyzer O instrumento Sine Analyzer faz a maioria das medições feitas pelo MLS/FFT. Porém, por processos diferentes.

Ao invés de utilizar pulsos ou ruídos pseudo-aleatórios, este instrumento, também de dois canais, emprega principalmente ondas sinusoidais e ondas sinusoidais gateadas.

As ondas sinusoidais gateadas foram uma opção para viabilizar as medições quase anecóicas.

De fato, com elas é possível medir a chegada do sinal direto ao microfone, com elevado grau de rejeição a todas as reflexões que o seguem.

12.4.3.3 O Instrumento Scope O terceiro instrumento do Audiosuite é o Scope. Trata-se de um osciloscópio digital de dois canais, que trabalha em tempo real.

Sua performance é realmente excepcional.

O instrumento já incorpora um gerador de ondas sinusoidais e quadradas, os quais são extraordinariamente fáceis de lidar.

Assim, o gerador pode ser utilizado para alimentar um aparelho qualquer, enquanto o osciloscópio monitora sua resposta.

Os ajustes do instrumento incluem: • acionamento ou não do gerador • determinação da taxa de varredura horizontal, em milissegundos/divisão • controle da taxa de aquisição (entre 5,12 kHz a 48 kHz) • trigger (há uma série opções) • ganho vertical do canal 1

- ganho vertical do canal 2
- posição vertical do traço do canal 1
- posição vertical do traço do canal 2
- displêi (só canal 1, só canal 2, e canais 1 e 2) • gerador (frequência, nível do sinal de entrada e forma de onda desejada) • ganhos escalares finos dos canais 1 e 2
- ajuste de atenuadores externos

ruído de teste utilizado foi o ruído branco. O sinal de retorno analisado foi captado pelo microfone de teste.

O segundo instrumento é um analisador de espectro em tempo real (RTA), cuja utilidade já é bem familiar para praticamente todos os engenheiros e técnicos de áudio.

Agora, os dados de frequência são apresentados com largura de banda de percentagem constante.

Assim, nestes gráficos, quem aparece como resposta de frequência plana é o ruído rosa.

Independentemente disso, o estímulo, proveniente do gerador, pode ser o ruído rosa ou o ruído branco, por escolha do usuário.

O processamento feito aqui baseia-se em operações DFT (Discrete Fourier Transform). Para dados a respeito, consulte o apêndice H.

Também podemos seleccionar as ponderações entre A, B e C.

Inúmeras medições podem ser combinadas numa única medição, que torna-se o equivalente do conjunto medido.

Os cálculos podem ser feitos de forma progressiva, ou não.

Podemos acionar o modo “Hold”, que faz aparecer simultaneamente duas curvas na tela. A inferior, informando em tempo real os valores medidos, e a superior, que nos mostra os picos máximos já atingidos, por banda de frequência.

É possível escolher a resolução do RTA entre 1/3 e 1/6 de oitava.

As figuras 12.76 e 12.77 mostram as telas do RTA com resolução de 1/3 e 1/6 de oitava, respectivamente.

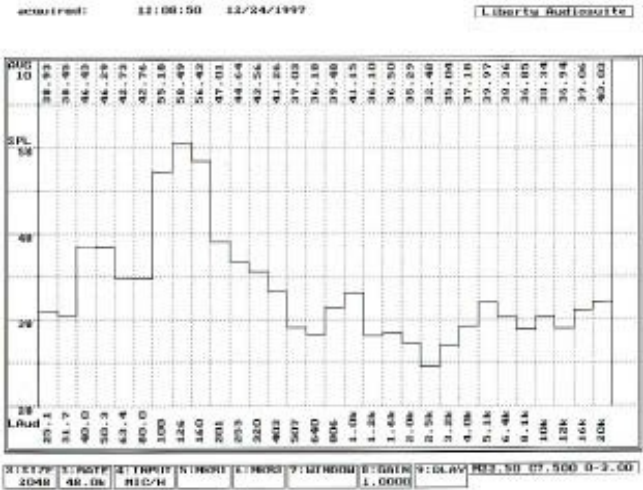


figura 12.76 tela do RTA com resolução de 1/3 de oitava acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

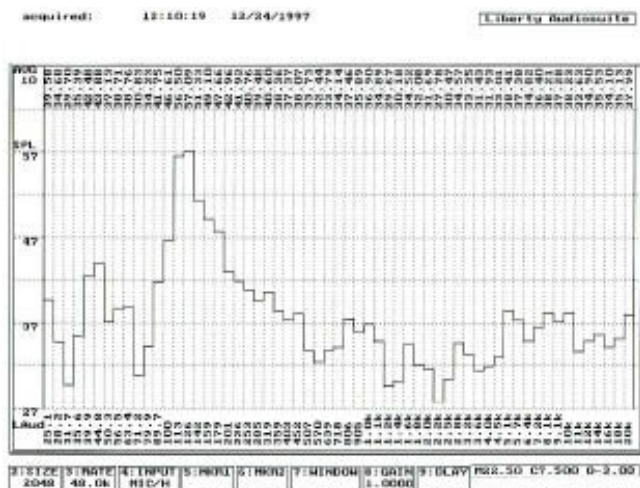


figura 12.77 tela do RTA com resolução de 1/6 de oitava acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vale
observar que a resolução de 1/6 de oitava, de valor prático incontestável, é muito difícil ser encontrada em instrumentos convencionais. Mesmo nos mais caros.

Olhando para essas figuras, vemos que as frequências centrais de cada uma das bandas são indicadas abaixo do gráfico. E acima dele, são indicados os valores de pressão sonora, também para cada uma das bandas de frequência.

12.4.3.5 O Instrumento Distortion Analyzer

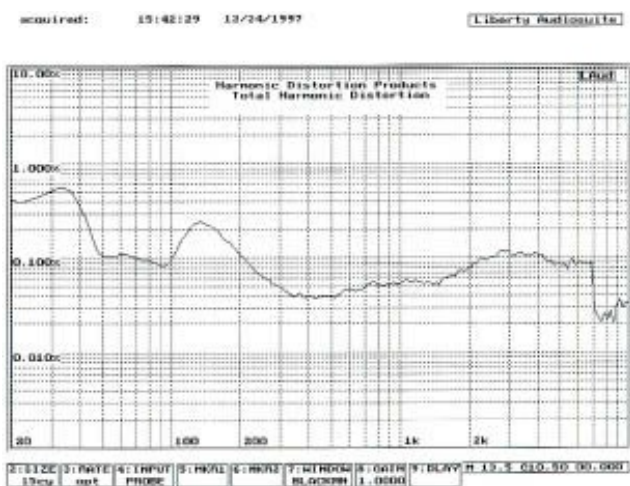


figura 12.78 distorção harmônica total indicada em percentuais referidos à fundamental acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Este é um analisador de distorção harmônica muito sofisticado. Que permite medir níveis de distorção elétrica ou acústica.

Os produtos de distorção podem ser apresentados em termos de magnitude, e de fase.

O displêi pode ser configurado para apresentar as distorções como valores percentuais da fundamental, como na figura 12.78, ou em níveis absolutos (decibels ou voltagem), como na figura 12.79.

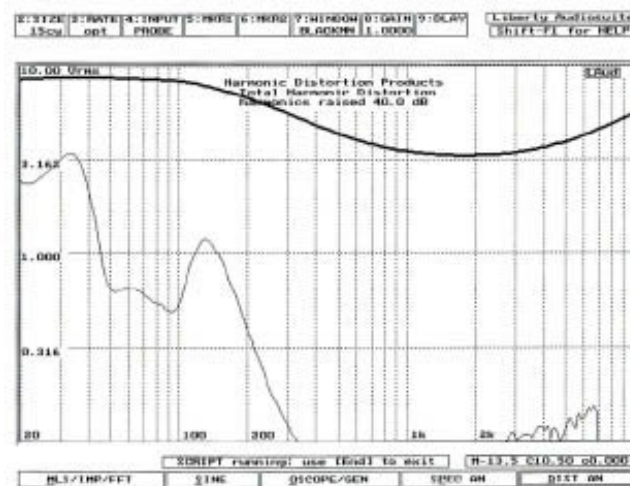


figura 12.79 distorção harmônica total indicada em níveis absolutos (volts) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Neste último caso, apenas para efeito de apresentação gráfica, o nível da distorção harmônica é aumentado em 40,0 dB. Ou não poderíamos visualizá-la na tela do micro. Quantos decibels as curvas são aumentadas, é uma rotina interna do aparelho, executada automaticamente para cada caso.

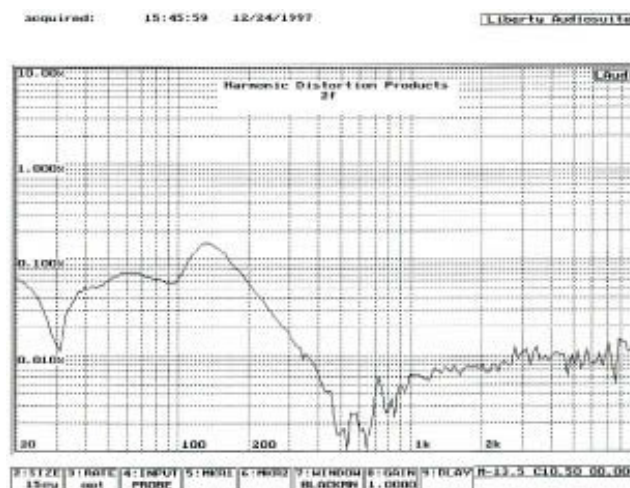


figura 12.80 distorção harmônica apenas da segunda harmônica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Note que as informações apresentadas por essas duas figuras são exatamente as mesmas, com formas diferentes. Se você fizer as contas para uma ou mais frequências, vai constatar exatamente isso.

As figuras 12.78 e 12.79 foram calculadas para o conjunto de distorções de todas as harmônicas, isto é, a DHT, ou distorção harmônica total.

Mas também podemos estabelecer para que os cálculos sejam feitos individualmente para cada harmônica. Também podemos decompor uma curva de DHT em distorções de harmônicas de tantas ordens quanto queiramos.

Por exemplo. Podemos manter as condições utilizadas para uma determinada medição, como a que gerou a figura 12.78, e a seguir, fazer o cálculo da distorção harmônica apenas de segunda ordem, como mostra a figura 12.80. Ou a de terceira ordem, como mostra a figura 12.81.

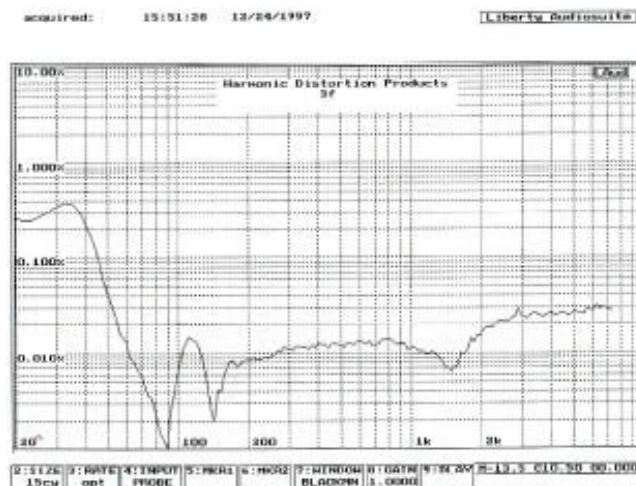


figura 12.81 distorção harmônica apenas da terceira harmônica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 12.4.3.6 Outros Recursos Além do que já vimos, o Audiosuite oferece uma série de recursos e facilidades de caráter geral, entre os quais podem ser citados: • ajuste automático dos níveis de entrada • facilidade “merge”, que possibilita apresentar numa única tela duas medições, e também, somá-las e subtraí-las, ou trabalhar com o modo diferença, o que é extremamente útil • ajuste automático de localização dos “marcadores”

- processador script. Trata-se de um campo no qual podemos programar por software, e salvar, várias rotinas e procedimentos de teste. Desde os mais simples até os muito complexos, aqui indistintamente denominados scripts. Naturalmente, para posterior recuperação e uso.
 - poderoso recurso de manipulação de dados e conversões • seleção do modo “marcadores” flutuantes, para ajuste dos mesmos via mouse • possibilidade do usuário definir manualmente, e com elevado grau de possibilidades, as escalas de todos os eixos
 - acionamento da função automeasure, que são macros de ajustes de níveis para as medições mais usadas • ganhos de entrada e de saída ajustados por software • ajustes de compensações de atrasos • recurso “cycling”, que permite manter o instrumento medindo continuamente, mesmo quando alteremos externamente os parâmetros antes definidos. A ideia por trás disso é que possamos monitorar os resultados das alterações que estamos provocando
- Dois comentários finais para encerrar esta parte.

Um, que as telas no computador são realmente muito mais bonitas e vistosas do que os correspondentes plotados ou obtidos via impressora.

Outro, que a navegação através das diversas telas do Audiosuite (uma para cada instrumento) se faz de maneira intuitiva, simples, objetiva, e com uma ampla variedade de recursos. E em casos de problemas, você conta com o help incorporado a praticamente todos os comandos.

12.4.4 O Praxis da Liberty Instruments Engana-se quem pensa que o Praxis é apenas mais um software de medição. Ao contrário, estamos discutindo um dos mais completos, sofisticados, consistentes e úteis softwares de medição que já experimentei. Posso lhes assegurar que muitos consultores internacionais partilham essa mesma opinião.

Ora, nem poderia ser diferente. O Praxis é o sucedâneo do fantástico Liberty Audiosuite, também conhecido como Laud, e hoje descontinuado. É, o que discutimos no item anterior. O Laud e o ultra bem cuidado Praxis foram bolados e desenvolvidos por um verdadeiro mago das medições eletroacústicas. Que antes de escrever o Laud há cerca de duas décadas já havia participado ativamente do desenvolvimento de dois grandes ícones vitoriosos da LinearX: o LMS (Loudspeaker Measurement System) e o LEAP (Loudspeaker Enclosure Analysis Program). Pouco tempo depois do lançamento, tanto o LMS quanto o LEAP se tornaram rapidamente em autênticas referências para todo o mercado.

Portanto, o Praxis tem pedigree de puro sangue.

Enquanto o Laud funcionava com uma placa Turtle Beach ou Fidji, no processo evolutivo, o Praxis já é compatível com praticamente qualquer placa de som de qualidade. Inclusive as que trabalham com taxa de amostragem de 192 kHz e resolução de 24 bits. Nessa mesma linha o programa é compatível com plataforma Windows e sistema operacional de 32 bits.

No processo de medição, o Praxis coleta dados para efetuar o processamento em tempo real ou a posteriori. Os dados processados vão dos mais simples até os que se caracterizam por extraordinário grau de complexidade. Não obstante seja muito potente e preciso, o Praxis é muito fácil de ser usado. Tudo nele é intuitivo.

Um dos pontos fortes do programa é sua possibilidade de produzir inúmeros tipos de estímulos em combinação com a possibilidade de configurar as aquisições de dados para um sem número de opções.

Da mesma maneira, também é possível customizar sem limites as apresentações gráficas e as formas de saída dos dados. Voltando aos estímulos, eles são sempre gerados em tempo real. Atualmente essa técnica é considerada muito superior à de utilizar arquivos finitos pré-produzidos.

Outro ponto forte do Praxis é que ele pode trabalhar com uma quantidade ilimitada de camadas (layers). Cada qual podendo ser associada a um fundo de tela dedicado, a seus próprios marcadores, às características desejadas de escala, aos ajustes de grátulas e às funções de ponderação.

Como disse antes, uma vez coletados os dados, eles ficam à disposição para processamento posterior. Com efeito, através desses recursos podemos aprofundar as análises a um grau de detalhes além de quaisquer expectativas.

Outro recurso de alta flexibilidade do Praxis é a possibilidade de se introduzir automação de modo rápido e simples. Para tanto, basta lançar mão dos “scripts”, conceito introduzido há muitos anos, com o Laud.

Um script é um aplicativo que roda com o programa principal. Cada script inclui sua

própria solução gráfica e tem capacidade para acionar todos os recursos do programa. O Praxis já é fornecido com uma grande quantidade de scripts, pré elaborados. Mas ele também inclui uma ferramenta especial, o LSD - Liberty Script Designer, produzido em parceria com a Borland. O LSD permite desenvolver facilmente quaisquer scripts.

Em razão da possibilidade de combinar estímulos, formas de aquisição, maneiras de efetuar o pós processamento dos dados, e estender as aplicações do programa mediante uso dos scripts, pode-se dizer que os recursos do Praxis são praticamente ilimitados. Mas para dar uma ideia clara disso ao leitor, entre as possibilidades de medição estão:

- resposta de frequência complexa de sistemas eletrônicos e acústicos
- medições de impedâncias complexas
- extração de parâmetros Thiële-Small de alto-falantes
- medições de respostas de frequência quasi-aneóicas de alto-falantes
- geração de resposta de impulsos de sistemas eletrônicos e acústicos
- medições das características acústicas das salas
- medições espectrais com RTA
- medições de contaminação espectral
- geração multitonal
- medições de distorções harmônicas
- medições de distorções por intermodulação
- medições de “bursts” formatados
- avaliações de hardware de som
- investigações de formas de onda no domínio do tempo
- análises de vibrações
- controle de qualidade e testes de alto-falantes, transdutores e dispositivos eletrônicos
- auxílio a projetos e otimização de crossovers eletrônicos
- geração de plots de “cumulative spectral display” (waterfall)
- compilação, formatação e displêi de dados de padrões polares
- avaliação de dados para efeito de decisão passa/não passa
- alinhamento de sistemas de mascaramento acústico
- monitoração de níveis e medições de resposta de frequência de programas ao vivo
- medição de características acústicas especiais em salas, como o STI (Speech Transmission Index)



figura 12.82 a janela principal do Praxis acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 12.82 mostra a janela principal (main form) do Praxis. A partir daí as demais janelas auxiliares podem ser abertas e fechadas conforme necessidade.

A figura 12.83 exhibe a área chamada plot primário.

É nessa janela que vão aparecer as principais informações com as quais lidamos durante praticamente todas as etapas das medições.

Observe que há um menu disposto na segunda barra horizontal da parte superior do plot primário. Pois bem, um simples clique em qualquer dos tabs desse menu produz um submenú, também disposto horizontalmente.

Veja-o na figura 12.84.

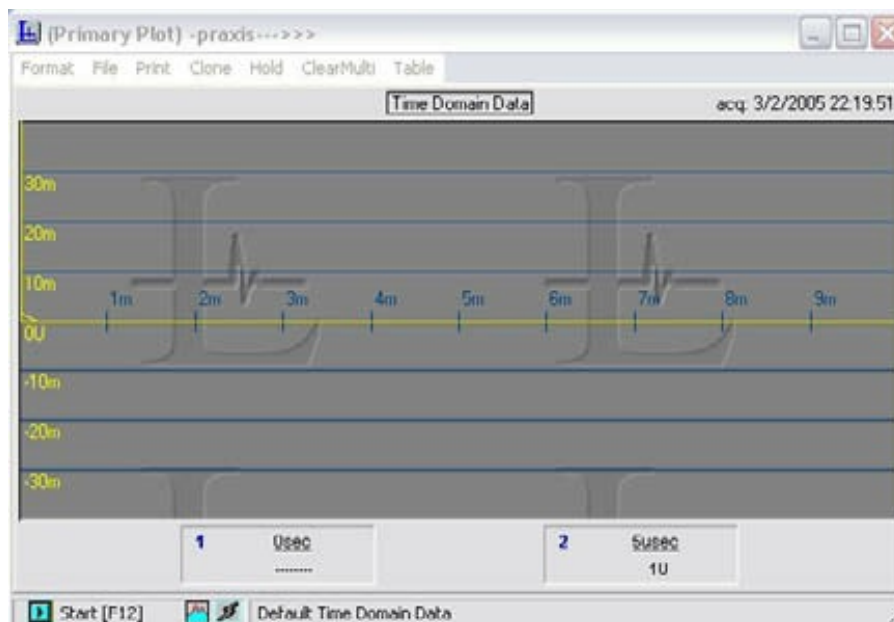


figura 12.83 a área do plot primário do Praxis acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

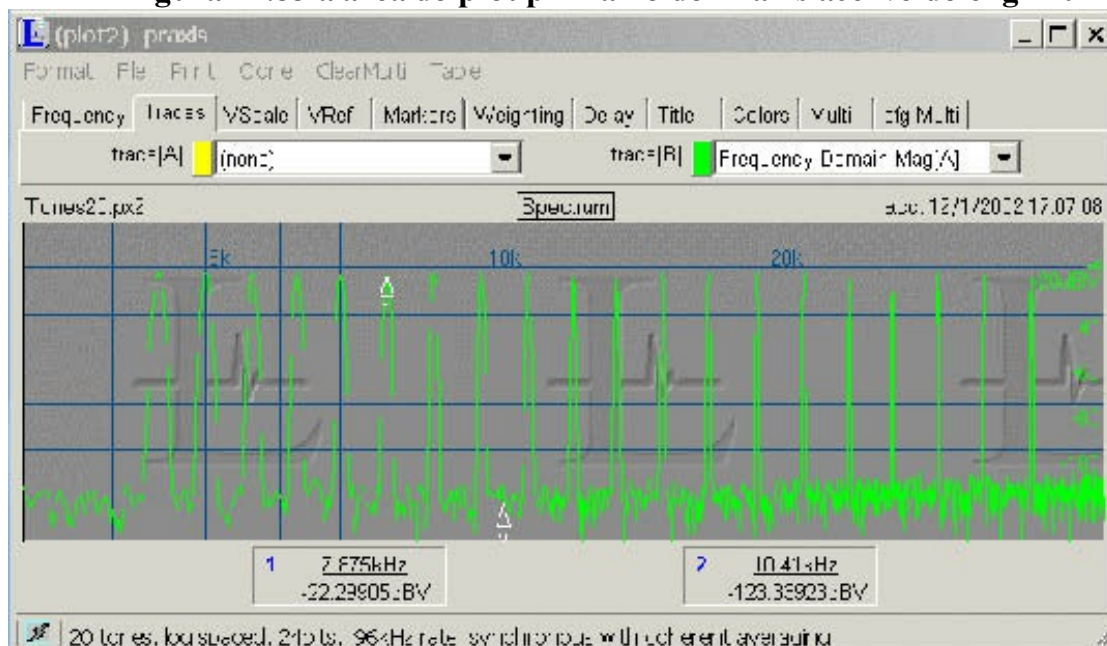


figura 12.84 submenú de controle do Praxis acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Através desse submenú é possível exercer o controle total sobre a apresentação com a qual se lida.

12.4.4.1 Resposta de Frequência Complexa de Sistemas Eletrônicos e Acústicos O Praxis faz as medições de resposta de frequência complexa apresentando as curvas de magnitude e de fase, como mostra a figura 12.85.

Se perceber bem, vai ver que as informações dadas por todos os programas acabam se assemelhando muito umas com as outras. As principais diferenças acabam mesmo ficando por conta da apresentação e o do visual que as empresas de software pretendem emprestar a seus produtos. Nem poderia ser de outra forma, porque todos os programas acabam sendo filhos da mesma mãe, que é o nível tecnológico de uma determinada época.

Assim, veja a resposta de magnitude e de fase do PRÁXIS e procure compará-la com as dos demais programas para tirar suas próprias conclusões.

Procure informações específicas sobre cada produto e tente comparar cada item, cada

recurso, cada facilidade de cada um deles para ver se um ou outro oferecem mais flexibilidade, mais acessórios ou qualquer coisa que possa ser considerado uma boa vantagem para seu caso e para suas aplicações.

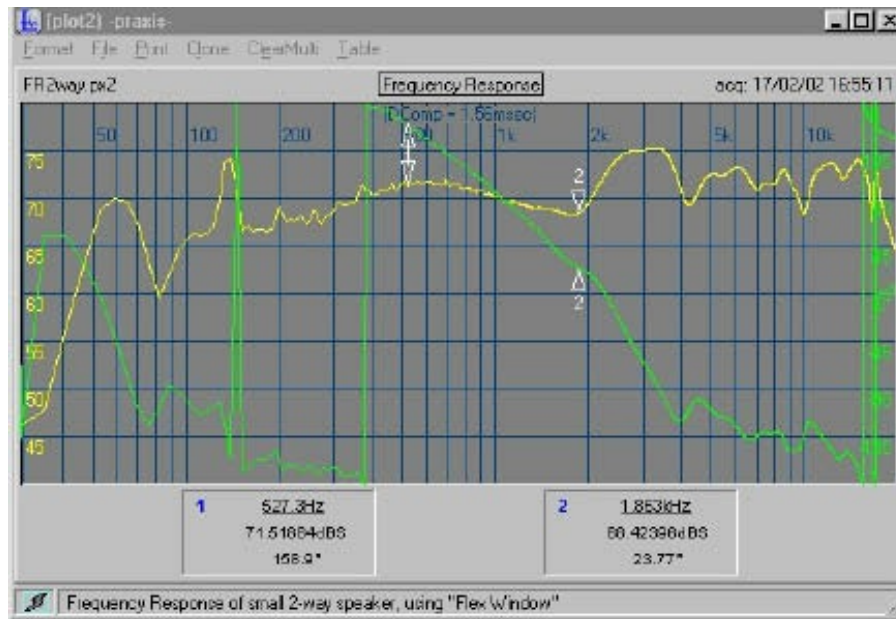


figura 12.85 resposta de frequência complexa acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 12.4.4.2
Medições de Impedâncias Complexas As medições de impedância complexas são feitas num piscar de olhos e os resultados são apresentados como na figura 12.86.

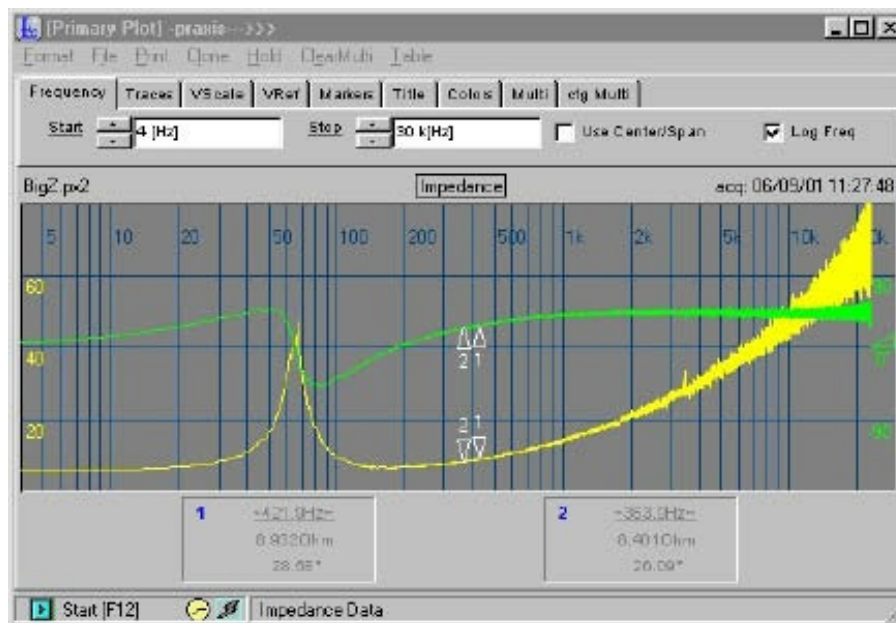


figura 12.86 medição de impedância complexa acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Lá estão as curvas de magnitude versus frequência e dos ângulos de fase versus frequência.

Se for preciso analisar com mais detalhes uma parte específica desse conjunto, é possível aplicar zoom às curvas da figura 12.86. O resultado fica como na figura 12.87.

Note que há marcadores triangulares colocados em locais específicos ao longo das curvas apresentadas no displêi.

Esses marcadores podem ser livremente utilizados pelo usuário, que assim automatiza melhor os processos e economiza tempo diante de tarefas realmente complexas.

Esse é um dos exemplos contundentes do que pode fazer uma pessoa muito experiente como a equipe que desenvolveu este software.

Outra facilidade muito interessante, também já vista em outros programas, é a utilização de cores diferentes para traços que não se quer confundir.

Neste caso, a curva do módulo da impedância e a do ângulo de fase.

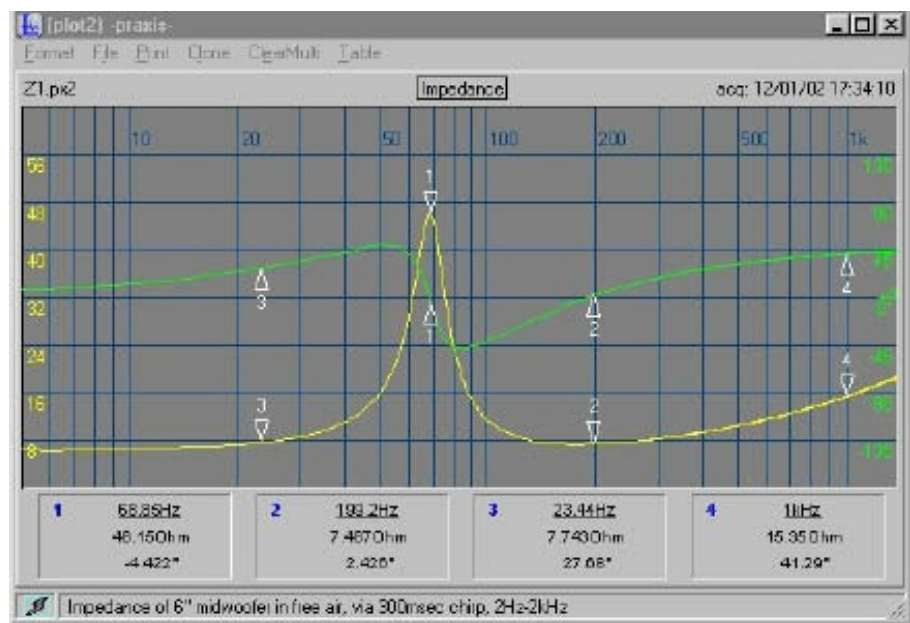


figura 12.87 visão com detalhes de medição de impedância complexa acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 12.4.4.3 Extração de Parâmetros Thiele-Small de Alto-falantes Uma vez medida a impedância complexa de um alto-falante, é possível pós processar os dados coletados para extrair os parâmetros Thiele-Small.

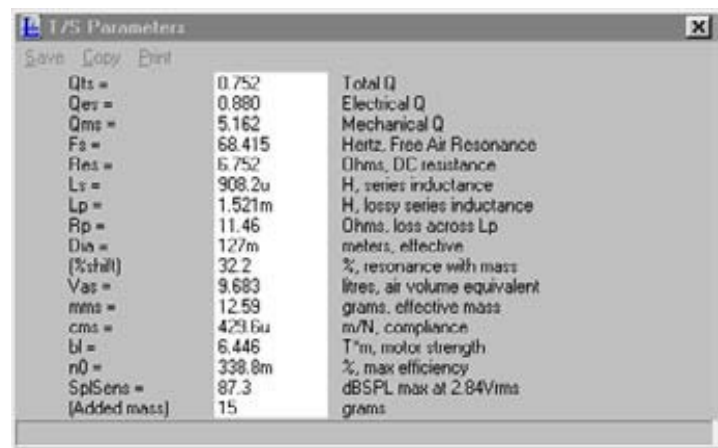


figura 12.88 plot do programa mostrando os parâmetros Thiele-Small acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O procedimento para essa extração é muito inteligente no Praxis. E os resultados são apresentados em forma tabular, como mostra a figura 12.88.

12.4.4.4 Medições de Resposta de Frequência Quasi-aneecóicas de Alto-falantes Essas medições são apresentadas com a mesma forma gráfica ilustrada na figura 12.88. A vantagem é que essa é uma medição extraordinariamente precisa e pode-se fazê-la sem qualquer necessidade de câmara anecóica.

12.4.4.5 Geração de Resposta de Impulso de Sistemas Eletrônicos e Acústicos A figura 12.89 mostra uma resposta de impulso obtida com o Praxis.

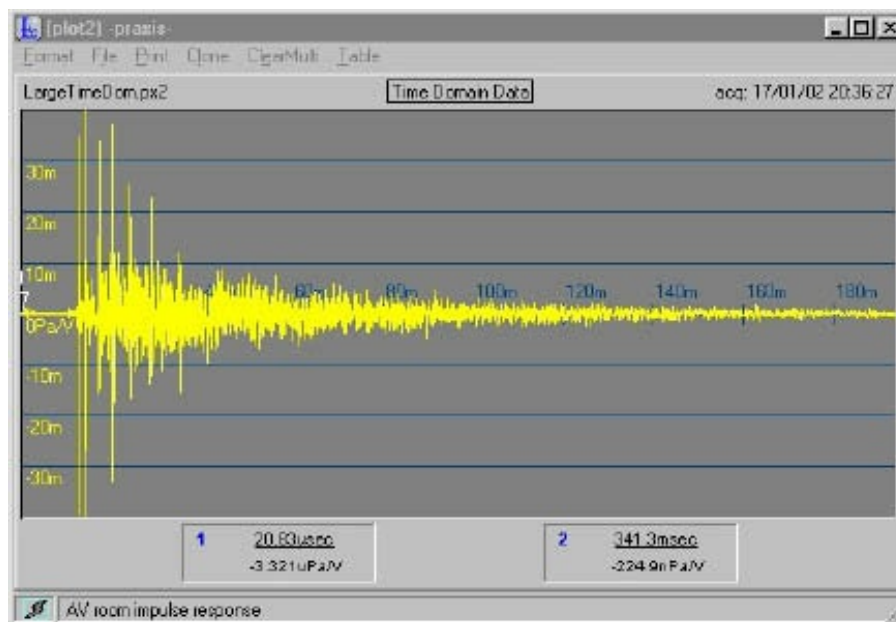


figura 12.89 tela mostrando uma resposta de impulso acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Pense num ambiente fechado qualquer com uma fonte de som e alguém que lá está para ouvi-la.

Logo depois que a fonte emite um som, antes de qualquer outra coisa o ouvinte ouvirá o sinal direto. Que é a onda que deixa a fonte e caminha diretamente, isto é, em linha reta, na direção dos ouvidos do nosso amigo.

A partir disso ele perceberá os sons refletidos nas superfícies mais próximas dele. Essa sequência é chamada de reflexões primárias. O nome sugere a ideia de que todos esses sinais recebidos são refletidos apenas uma vez numa dada superfície. Que pode ser o piso, o forro, qualquer parede ou superfície interna da sala.

Depois de receber essa sequência o ouvinte perceberá, então, o campo reverberante. Que é uma sequência bastante densa formada por muitas reflexões, todas resultantes de múltiplas reflexões. Ao que vale dizer, são reflexões havidas em duas ou mais superfícies da sala entre o momento que o sinal deixa a fonte e o momento que ele chega aos ouvidos do ouvinte.

Entendida essa mecânica, pense agora num sinal de duração muito curta, mas que ainda pode ser representado como uma resposta de frequência muito plana. Isto é exatamente o que chamamos de impulso.

Pense agora no mesmo ambiente fechado do qual acabamos de falar.

A fonte vai produzir um sinal de impulso. Escolhemos um lugar na sala para colocar o microfone de teste. A finalidade é registrar a resposta da sala ao sinal de impulso produzido pelo alto-falante.

Assim como o ouvinte recebia o sinal direto, as reflexões primárias e o campo reverberante, o microfone de teste receberá essa mesma série temporal, porém originada do sinal de impulso. Essa série é o que chamamos resposta de impulso da sala.

A resposta de impulso é um dos pilares de qualquer sistema moderno de medição porque ela contém inúmeras informações importantes, incluindo as principais propriedades acústicas da sala.

Com efeito, a resposta de impulso é muito utilizada para a investigação de toda a sorte dos campos de som em quaisquer locais fechados, a exemplo de salas técnicas e salas de gravação em estúdios, de salas de concerto a quaisquer títulos, de auditórios, de teatros, de cinemas, de salas de audição de sistemas high-end e de tantos outros ambientes fechados.

Uma vez coletada a resposta de impulso é possível processar os dados com a transformada de Fourier para estabelecer a função transferência (função resposta de frequência) entre a fonte de som e o ponto de medição. Por si só, isso já possibilita calcular com muita precisão uma ampla variedade de parâmetros, como os tempos de reverberação da sala, as quantidades de absorção acústica impostas pelas superfícies internas, *etc.*

A resposta de impulso também se presta para gerar a auralização, que é uma função equivalente à realidade virtual acústica. O uso adequado de técnicas de convolução possibilita a geração de muitos efeitos obtidos a partir da resposta de impulso.

Os softwares de RTA são considerados as ferramentas mais adequadas para a obtenção dos arquivos de resposta de impulso.

A fonte mais usada para gerar o sinal de impulso é a que emprega a técnica MLS, acrônimo para Maximum Length Sequence. Com efeito, provavelmente esta é a mais antiga tentativa de relacionar a teoria dos números com o áudio. O sinal MLS é uma sequência pseudo-aleatória baseada na teoria dos números, que contém inúmeras propriedades matemáticas de interesse. Para mais detalhes sobre esse tópico recomendo a leitura do excelente trabalho de Manfred Schroeder, “Number Theory in Science and Communication”. Sem dúvida, essa é uma verdadeira obra de arte da ciência contemporânea.

Embora outros estímulos também possam ser utilizados, a exemplo da sequência TPS, do ruído branco, de “chirps” e muitos outros, o hardware e o software para uso com as técnicas MLS já vem sendo empregados desde 1987. Portanto, reproduzir a sequência MLS através de um sistema linear, invariante com o tempo, acabou se tornar uma das formas mais utilizadas para a obtenção da resposta de impulso.

12.4.4.6 Medições das Características Acústicas as Salas

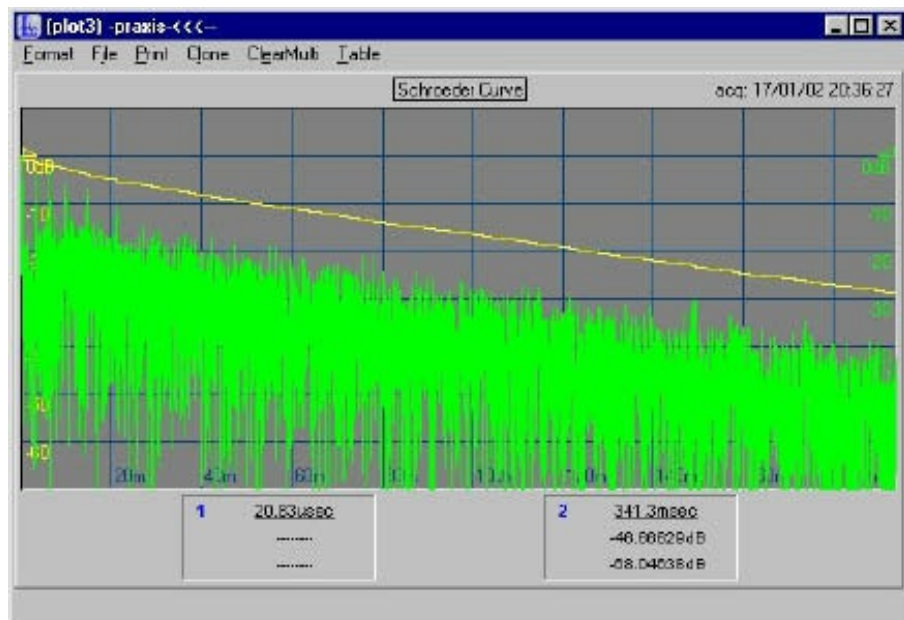


figura 12.90 curva Schroeder derivada da resposta de impulso acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
O recurso de pós processamento do Praxis pode transformar a resposta de impulso numa curva Schroeder, também conhecida como curva de decay de reverberação.

A figura 12.90 mostra uma dessas curvas. A rigor, nota-se duas curvas no gráfico. Uma delas é a curva Schroeder, obtida através da integração inversa da resposta de impulso elevada ao quadrado ponto a ponto. A segunda curva é a plotagem da magnitude da resposta de impulso devidamente normalizada. A integração inversa é uma excelente técnica para minimizar possíveis erros introduzidos na medição por força do ruído ambiente e, também, pelo setup de medição.

Essas duas curvas contêm uma verdadeira massa de informações. Dependendo da experiência de quem lida com o programa as informações estarão mais ou menos visíveis a olho nu.

Mas há uma forma infalível que permite o acesso a todas as informações mesmo para um profissional pouco experiente. Sim, é a forma tabular. Veja a figura 12.91.

Reverberation Parameters		
Save	Copy	Print
Freq =	Full Band	Hz
RT60 =	0.456	sec, Reverb Time
EDT =	0.055	sec, Early Decay Time
tl(1) =	0.0064	sec, Initial-Time-Delay Gap
C80 =	13.504	dB, Objective Clarity (80ms)
C50 =	8.817	dB, Objective Clarity (50ms)
G =	5.243	dB, Strength of Arriving Energy
STI-N =	0.759	Speech Transmission Index (noise free)
AV Room		

figura 12.91 resumo tabular de informações referentes à curva Schroeder acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura mostra que os cálculos incluem tempo de reverberação, early decay time, ITDG, índices de claridade, o fator G e, também, o STI, ou Speech Transmission Index.

12.4.4.7 Medições Espectrais com RTA

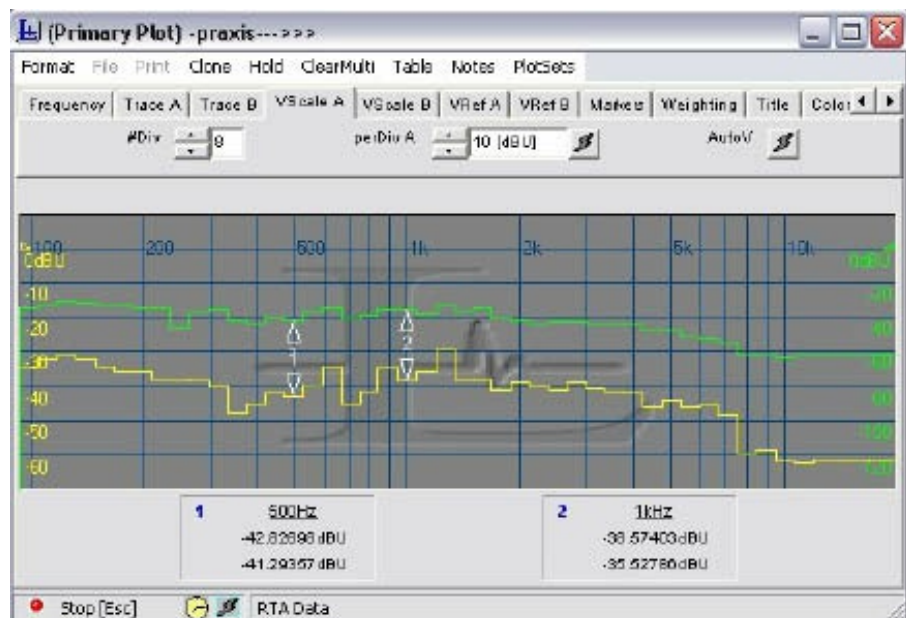


figura 12.92 resultado gráfico do analisador de espectro em tempo real do Praxis acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Naturalmente, pode-se fazer qualquer tipo de análise espectral em tempo real utilizando os recursos de RTA do Praxis. Que são muitos e poderosos. A figura 12.92 mostra uma típica representação desse tipo de análise, realizado em tempo real com dois canais.

Esses dados são obtidos por um processador FFT de altíssima resolução. O usuário escolhe a fração de oitava desejada, a taxa de amostragem e o tamanho FFT. Como em qualquer outro sistema de medição do gênero, quanto maior for o tamanho FFT mais baixa será a frequência que pode ser calculada com suficiência de dados.

12.4.4.8 Medições de Contaminação Espectral A contaminação espectral é uma forma de distorção, cuja medição foi objeto de uma palestra muito interessante apresentada por Deane Jensen na 85ª Convenção da AES de 1988. O correspondente preprint é o AES 2725.

O processo refere-se à distorção presente em qualquer sistema que processe sinais complexos, como os de música.

O problema começa nas frequências harmônicas ultrassônicas, que ressonam em razão da falta de amortecimento adequado nessa região do espectro.

Assim, são muito estimuladas frequências numa banda muito ampla, mas com níveis bem moderados.

Estes acabam se combinando com subprodutos de distorções por intermodulação, especialmente quando na presença de sinais multitonais.

As influências de origem podem ser ressonâncias próprias na região de 50 kHz, ou mesmo os efeitos de IEM (Interferência EletroMagnética).

O resultado é a produção de uma ampla gama de artefatos digitais.

Acredita-se que a contaminação espectral seja a grande responsável pela baixa qualidade sônica em médias e altas frequências de muitos aparelhos e sistemas digitais, cujas medições convencionais jamais apontaram algo de errado com quaisquer das especificações.

Podemos resumir dizendo que a contaminação espectral é o aparecimento indevido de tons

não presentes no sinal original.

O PRÁXIS oferece todos os meios para que fazer essa medição.

O estímulo a ser utilizado é um conjunto de tons aplicado repetidamente com simultaneidade e com idênticas relações de fase.

Outra alternativa possível de estímulo é a aplicação de um envelope com formatação toda especial.

Os tons aplicados ao dispositivo que se quer testar constituem um estímulo síncrono, com a repetição de impulsos de forma idêntica. Isso significa que é possível estabelecer a média coerente do resultado.

Tal técnica ajuda a reduzir os níveis de ruídos gerados, facilitando a tarefa do analisador FFT de identificar os tons indesejáveis presentes entre os tons do estímulo.

12.4.4.9 Geração Multitonal Esse estímulo foi o que acabamos de discutir no item anterior. Entretanto, ele se presta para uma ampla gama de medições, além da discutida.

12.4.4.10 Medições de Distorções Harmônicas As distorções harmônicas podem ser facilmente medidas com o emprego de estímulos especiais, síncronos ou assíncronos. Basicamente, tons sequenciais.

O sistema analisa outras frequências além daquelas presentes no estímulo. Especialmente a concentração de energia em determinadas frequências.

Então, os produtos da distorção são isolados, medidos e plotados de forma gráfica no plot primário.

É possível estabelecer a figura de DHT, ou Distorção Harmônica Total, ou quaisquer de seus componentes em quaisquer combinações. Por exemplo, harmônicas de ordem ímpar a partir da quinta.

12.4.4.11 Medições de Distorção por Intermodulação Técnicas com as esplanadas acima, além da aplicação de funções especiais de convolução dos sinais permitem distinguir as formas de distorção harmônica das de distorção por intermodulação, e ainda, destas da contaminação espectral.

Uma curva mostrando a distorção por intermodulação tem a forma típica que mostra a figura 12.93.

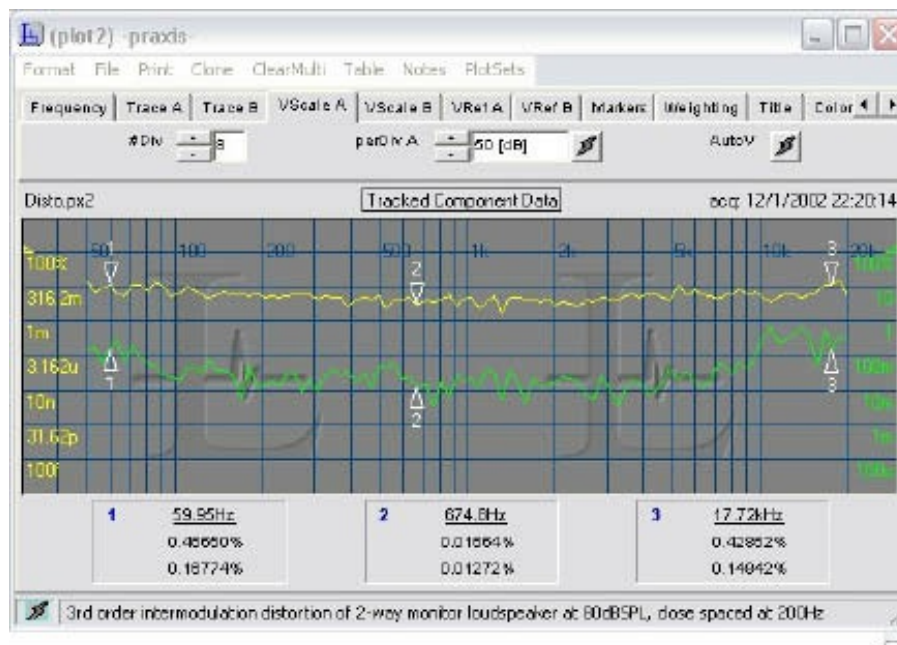


figura 12.93 curvas de distorção por intermodulação acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 12.4.4.12 Medições de “Bursts” Formatados Essas medições também fazem parte do volumoso elenco do Praxis.

12.4.4.13 Avaliações de Hardware de Som O Praxis facilita muito as coisas para o usuário, possibilitando avaliações contundentes do hardware que faz parte do setup de medições, assim como de dispositivos que se quer avaliar.

É possível escrever scripts específicos para testes de aparelhos, dos quais se quer saber impedâncias características, respostas de frequência, níveis de distorção, *etc.*

12.4.4.14 Investigações de Formas de Onda no Domínio do Tempo Praticamente quaisquer formas de onda estabelecidas no domínio do tempo podem ser investigadas à exaustão.

12.4.4.15 Análise de Vibrações As análises de vibrações, um tanto ou quanto incomuns na área específica de áudio, são muito empregadas com campo da acústica. Com o Praxis elas podem ser feitas com facilidade.

Para tanto, são empregados dois acelerômetros.

O primeiro é fixado à superfície de uma mesa vibratória, e sua saída é levada ao canal 2 da placa de som. O segundo acelerômetro é aplicado à superfície do dispositivo do qual se quer analisar as vibrações, provavelmente porque sobre o mesmo recaem suspeitas de vibrações em excesso. Sua saída é ligada ao canal 1 da placa de som. Pois bem, basta acionar a mesa vibratória aplicando-lhe um estímulo de banda muito larga, preferencialmente um ruído formatado.

A plotagem resultante mostra claramente as ressonâncias do objeto sob investigação, na forma de respostas às vibrações da mesa.

12.4.4.16 Controle de Qualidade e Testes de Alto-falantes, Transdutores e Dispositivos

Eletrônicos Alguns poucos scripts já serão suficientes para que o Praxis possa trabalhar testando alto-falantes, transdutores e quaisquer dispositivos eletrônicos, verificando se determinados parâmetros escolhidos estão dentro de faixas de tolerância previamente definidas.

Por exemplo, para testes de alto-falantes, os parâmetros poderão ser selecionados entre os parâmetros Thiële-Small para formar quaisquer combinações desejadas.

12.4.4.17 Auxílio a Projetos e Otimização de Crossovers Eletrônicos Os recursos de medição de resposta de frequência associados à utilização de camadas pode facilitar muito a interpretação do trabalho de filtros combinados, e acelerar muito todo o procedimento de medição envolvido na etapa de projeto de dispositivos como crossovers eletrônicos.

A figura 12.94 ilustra a apresentação de várias curvas, cada qual registrada em sua própria camada.

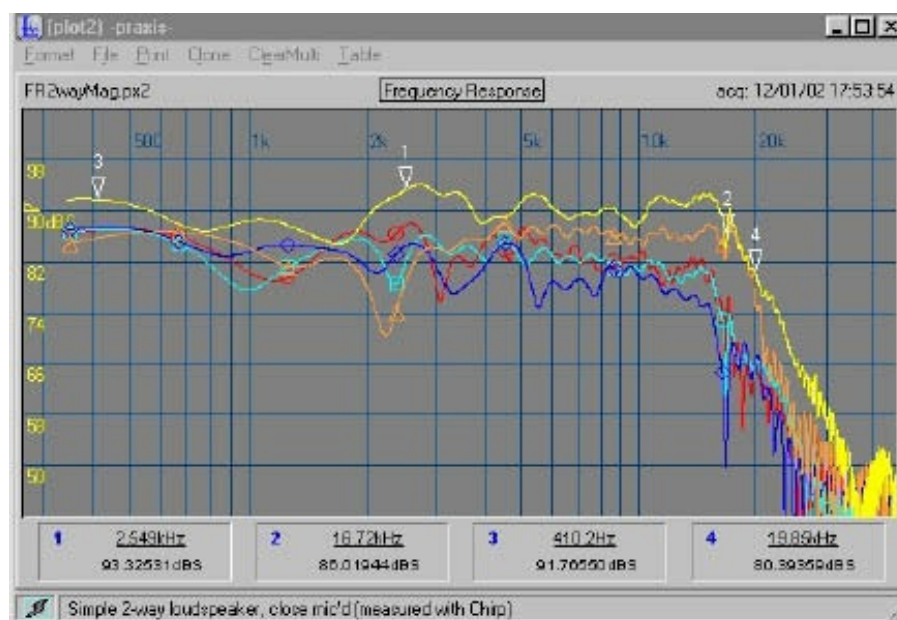


figura 12.94 curvas de resposta de frequência em camadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
12.4.4.18 Geração de Plots de “Cumulative Spectral Display” (waterfall)

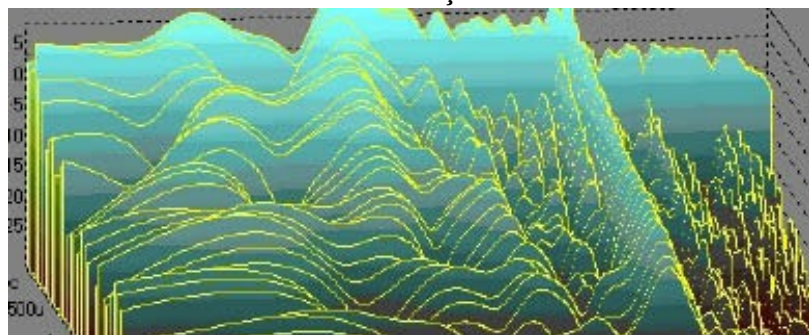


figura 12.95 resposta waterfall acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para gerar as curvas waterfall, o Praxis transforma a resposta de impulso em dados cumulativos de decay espectral.

O processamento em si emprega uma longa série de FFTs. O usuário pode selecionar o tamanho FFT, a janela digital preferida, e os incrementos de tempo entre cada “camada” sucessiva de plotagem.

Também se pode estabelecer a quantidade máxima de passos e o tempo limite de processamento.

O resultado dessa conta pode ser apresentado graficamente.

Como mostra figura 12.95, esta é uma representação essencialmente tridimensional.

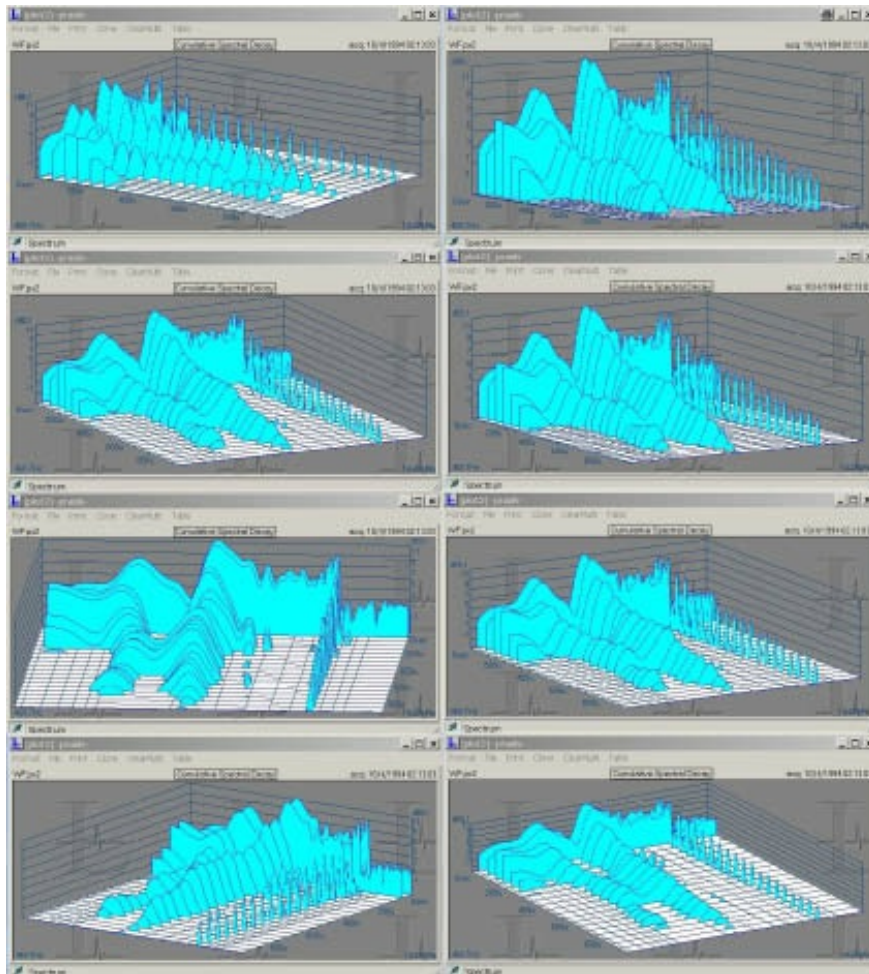


figura 12.96 respostas waterfall acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma das dimensões da representação é a intensidade, outra é a frequência e a última é o tempo.

A rigor, podemos considerar a representação como sendo uma série de respostas de frequência, cada qual considerada uma fatia, sendo cada fatia aferida num momento diferente. A forma gráfica mostra a resposta acústica de um alto-falante e como ela é atenuada com o tempo, frequência por frequência. Portanto, a representação waterfall mostra as ressonâncias do falante e/ou gabinete, bem como o comportamento de ruptura do cone do transdutor. Outro uso muito importante da representação waterfall é que ela possibilita analisar detidamente as respostas dos alto-falantes à transientes.

Sendo essa representação 3-D, muitas vezes se quer “enxergar” as curvas por cima, ou por um lado em particular, e assim por diante. É por isso que o PRÁXIS permite que vejamos a representação por praticamente qualquer prisma.

É o que tentei mostrar com a figura 12.96.

Creio que as figuras não exigem qualquer explanação complementar.

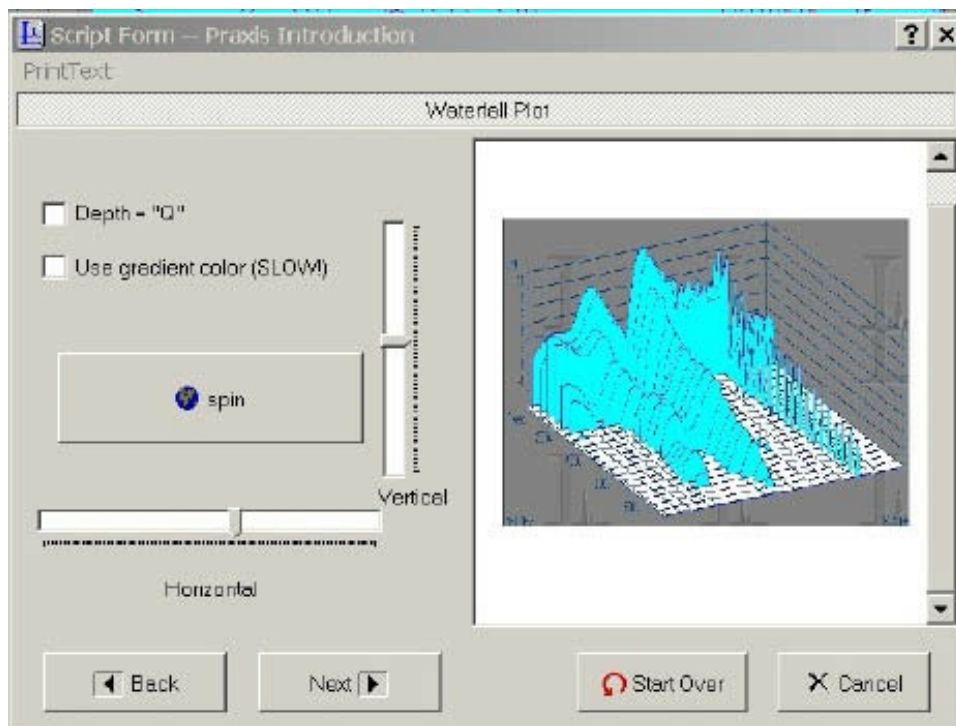


figura 12.97 janela de controle da perspectiva visual das respostas waterfall acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O controle de perspectiva da forma gráfica é feito através da janela exibida na figura 12.97.

Os botões “horizontal” e “vertical” podem ser deslocados continuamente, enquanto a figura vai se ajustando praticamente em tempo real. É um barato!

Digo praticamente porque, dependendo da complexidade dos dados FFT coletados, as contas podem impor um atraso perceptível ao processo, o que também depende da capacidade computacional da máquina utilizada.

A janela ainda tem dois outros controles, denominados “depth Q” e “use gradient color”. Os correspondentes resultados gráficos são exibidos espalhafatosamente nas figuras 12.98 e 12.99, nessa ordem.

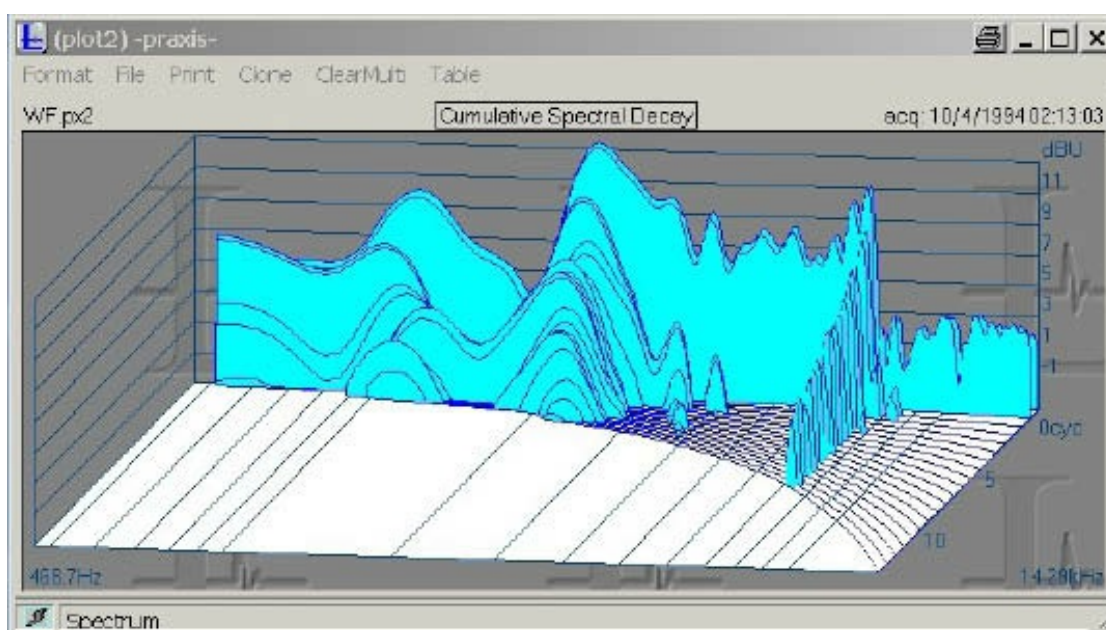


figura 12.98 janela com o parâmetro “depth Q” e seus efeitos visuais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

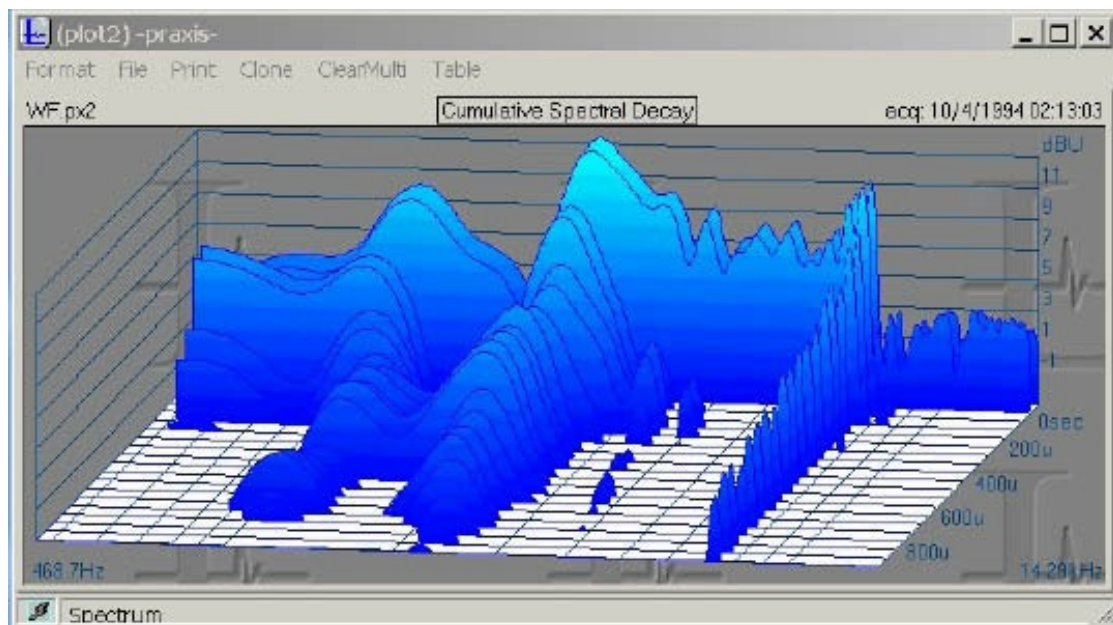


figura 12.99 janela com o parâmetro “use color gradiente” e seus efeitos visuais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 12.4.4.19 Compilação, Formatação e Displêi de Dados de Padrões Polares

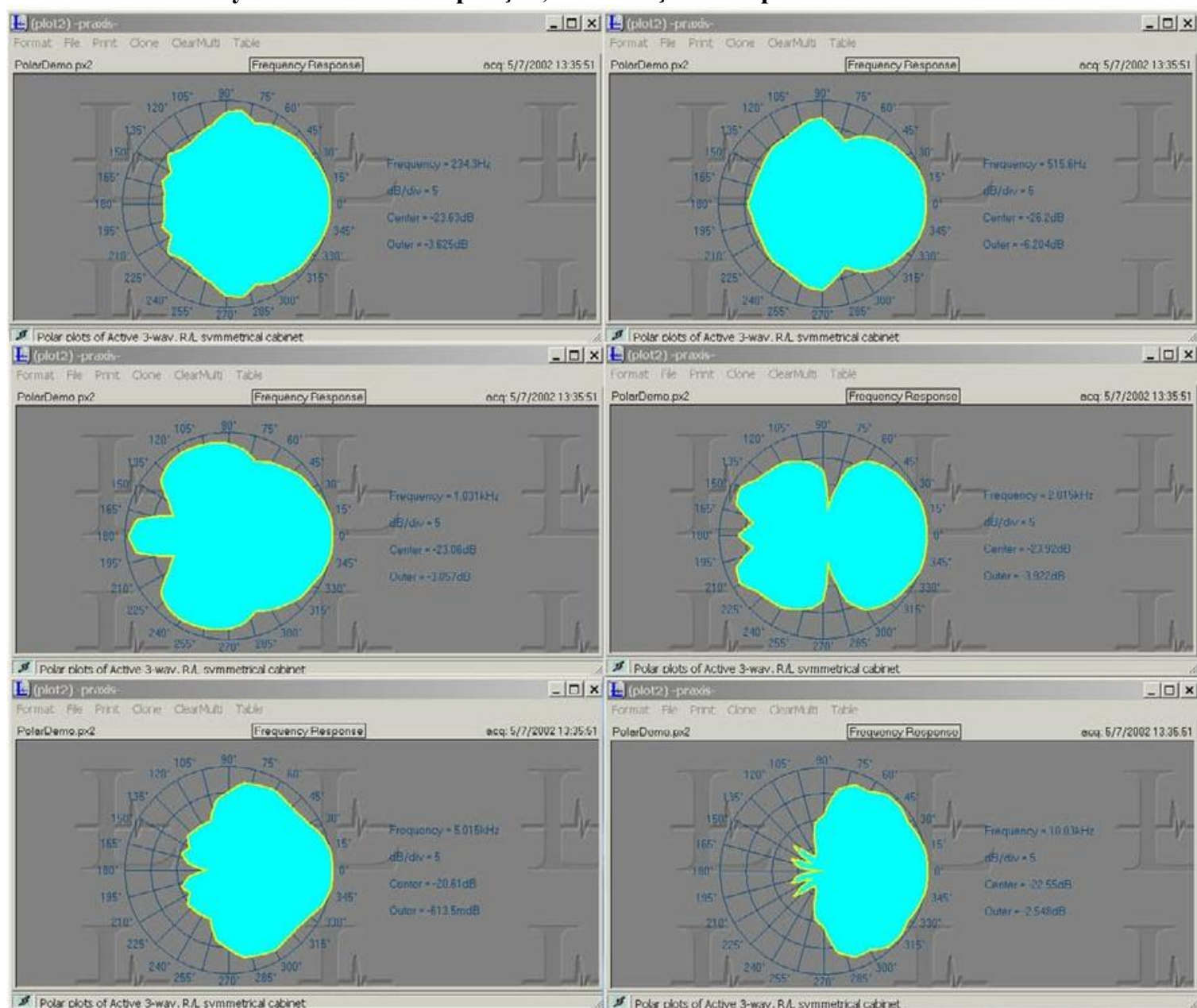


figura 12.100 padrões polares de falantes medidos no sistema Praxis acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nesta compilação os dados das respostas de frequência são convertidos numa entidade única, já que nos cálculos pós processamento as magnitudes são indexadas por valores angulares. Assim, a apresentação pode ser feita com acuidade em forma de diagramas polar de radiação, ou simplesmente

de padrões polares.

Os recursos de controle permitem exibir diagramas polares para praticamente quaisquer frequências desejadas.

A figura 12.100 ilustra como são apresentados esses diagramas.

12.4.4.20 Avaliação de Dados Para Efeito de Decisão Passa-Não Passa Esses recursos podem ser implementados facilmente com o auxílio dos scripts.

12.4.4.21 Alinhamento de Sistemas de Mascaramento Acústico O alinhamento dos sistemas de mascaramento acústico é sobremaneira delicado em razão da elevada acuidade necessária tanto para a formatação do estímulo elétrico de partida, quanto para a determinação dos níveis de pressão sonora iniciais.

E nesse contexto o Praxis surge como uma ferramenta muito adequada para a tarefa em questão e outras, do mesmo gênero.

12.4.4.22 Monitoração de Níveis e Medições de Resposta de Frequência de Programas ao Vivo Outra aplicação muito interessante para o Praxis, que tive a oportunidade de testar em vários lugares. A prática mostrou que, nessa atividade, o Praxis é um instrumento bastante seguro e rápido.

12.4.4.23 Medições de Características Acústicas Especiais em Salas, Como o STI (Speech Transmission Index) Se você observar a figura 12.91 notará que a última linha refere-se ao STI, ou Speech Transmission Index.

O STI é uma das formas de se aferir a inteligibilidade da palavra de um sistema eletroacústico completo.

Como tal, o recurso pode ser aplicado em quaisquer locais e a sistemas de reforço de quaisquer portes.

Os cálculos de STI são sempre realizados para banda de uma oitava em torno da frequência central escolhida pelo usuário. Assim, quando desejamos uma banda de muitas oitavas, é preciso efetuar cálculos seguidos para compor os resultados. Interessante observar que as bandas mais representativas da inteligibilidade são as centradas em 1 kHz e em 2 kHz.

Por outro lado, qualquer cálculo de STI requer respostas de impulso obtidas com tempos de 800 ms, ou superior.

12.4.4.24 Auxílio À Equalizações Outra possibilidade de aplicação do PRÁXIS. Em razão de sua flexibilidade para visualização, pode-se determinar a frequência problemática com precisão quase absoluta.

O SIM III da Meyer Sound A figura 12.101 exibe três fotos, todas do SIM da Meyer Sound. Na foto da esquerda está o primeiro SIM, lançado em 1986. Na foto do meio o SIM II, de 1991. E a foto da direita mostra o SIM III, de 2003.

O SIM de 1986 operava baseado numa plataforma pronta, o analisador FFT de dois canais da Hewlett-Packard, o modelo 3582A.

Como o Smaart, o SIM era uma ferramenta imaginada para ajudar com o alinhamento de sistemas em campo, e para ser um auxiliar indispensável na bancada.



figura 12.101 o SIM da Meyer, da esquerda para a direita, de 1986, de 1991 e de 2003

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Embora a proposta da Meyer com o SIM fosse muito parecida com a da SIA para o Smaart, havia diferenças fundamentais entre os dois produtos. Com efeito, enquanto o Smaart ficava limitado a dois canais, o SIM, de conceito modular, tinha capacidade de ampliação virtualmente ilimitada. S segunda diferença, alegada principalmente pelos usuários do SIM, era a maior acuidade das medições feitas. O que era contestado pelos usuários do Smaart. Estes alegavam que o recurso FPPO (Fixed Points Per Octave) do Smaart podia até reduzir a velocidade das medições, mas com ela acionada os dois produtos tinham acuidades equivalentes.

Outra diferença é que enquanto o Smaart era apenas software, o SIM era isso software mais hardware. Assim, a velocidade de operação do Smaart dependia única e exclusivamente da capacidade computacional e velocidade do processamento do computador, enquanto a acuidade das medições dependia crucialmente da qualidade do microfone e da placa de áudio utilizada, numa época em que, de momo geral, as placas estavam muito longe do que são hoje. Por outro lado, como hardware que era, o SIM trabalhava de forma otimizada, já que seus recursos físicos podiam ser maximizados para atender “in totum” as necessidades de várias combinações de aplicações.

Por tudo isso, mas também por ser portador da grife Meyer, decorria a quarta e muito importante diferença entre Smaart e SIM. É que este custava muitas vezes o que custava o Smaart.

O SIM II foi um sucessor natural do SIM, incorporando a introdução de algumas melhoras. Muitos consideram que o SIM III foi mais um dessa sequência. Pessoalmente, entendo que muito do que foi aprendido com o SIM e com o SIM II foi usado no SIM III. Mas este é um outro produto. Completamente diferente. Em comparação com o SIM II, ele é muito mais potente, cerca de 50 vezes muito mais veloz e muito mais barato !!!



figura 12.102 painel frontal do SIM III da Meyer acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para se ter ideia, o SIM III faz cerca de 2000 análises FFT por segundo. Do que resulta uma excelente resolução.

A figura 12.102 mostra o painel frontal do SIM III.

12.4.6 O MAPP da Meyer Sound Outro produto da Meyer Sound. A grande diferença entre este e todos os demais discutidos até aqui é que este está disponível em tempo real, na Internet. Entretanto, ele foi especialmente desenvolvido para operar apenas com produtos Meyer.

O MAPP é um programa de simulação eletroacústica, onde o usuário pode definir totalmente o ambiente, incluindo temperatura, pressão atmosférica, umidade, bem como localização e composição das paredes. O programa foi elaborado para simular padrões de cobertura, respostas de frequência, respostas de impulso e máximo SPL para uma só caixa acústica ou clusters. Também é possível simular atrasos para falantes, individualmente ou em grupo.

Um dos pontos fortes do MAPP é que ele mostra clara e detalhadamente a interação entre as caixas acústicas. Esse recurso facilita muito o trabalho de evitar as interferências destrutivas entre os falantes e mesmo entre clusters. Basta posicionar o microfone no local desejado do campo de som e todos os parâmetros serão avaliados.

Assim, e como em todo software do gênero, é possível ajustar os falantes aos poucos a fim de obter a melhor cobertura acústica possível.

A base de dados do MAPP é atualizada continuamente. O que possibilita trabalhar com os últimos lançamentos da Meyer.

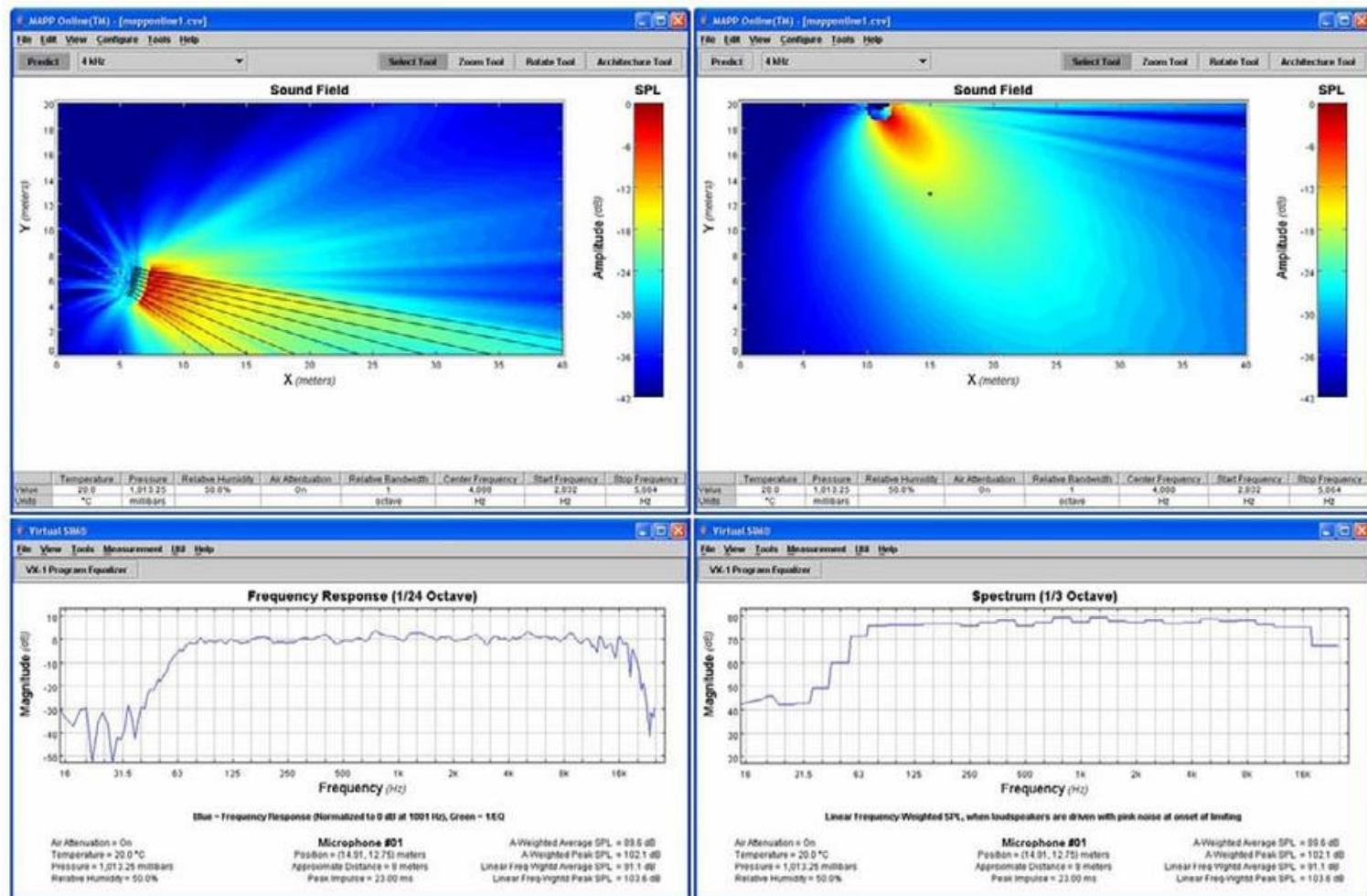


figura 12.103 acima, respostas polares de arranjos line-array Meyer e, abaixo, à esquerda resposta de frequência e à direita, analisador de espectro em tempo real acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne. Há uma versão profissional do MAPP, só disponibilizada pela Meyer para profissionais qualificados pela própria indústria.

A figura 12.103 mostra algumas das telas típicas do MAPP.

Se você tem acesso à Internet, vale à pena entrar no site da Meyer (www.meyersound.com) e fazer alguns exercícios com o MAPP.

12.4.7 Ferramentas Não Software Fora os programas discutidos até aqui, voltados para o alinhamento de sistemas, há algumas ferramentas que podem ajudar muito com algumas tarefas.

Vejamos algumas dessas.

12.4.7.1 Medidores Integrais de Ângulos Esta é uma ferramenta que já é fornecida como parte integrante de algumas caixas acústicas de uso profissional. No caso de caixas line-array, essa ferramenta permite inclusive a medição de ângulos entre os eixos de caixas adjacentes na pilha, ou de caixas isoladas em quaisquer proporções. A precisão dessa ferramenta costuma ser muito elevada.

12.4.7.2 Nível a Laser Ângulos Esta é uma ferramenta que já é fornecida como parte integrante de algumas caixas acústicas de uso profissional. No caso de caixas line-array, essa ferramenta permite inclusive a medição de ângulos entre os eixos de caixas adjacentes na pilha, ou de

caixas isoladas em quaisquer proporções. A precisão dessa ferramenta costuma ser muito elevada.



figura 12.104 nível laser, Bosch modelo GLL3-80P, capacidade de 3 planos precisos com cobertura de 360° com operações horizontais e verticais cortesia Bosch 12.4.7.3 Nível Eletrônico Magnético com Localizador de Ponto



figura 12.105 nível eletrônico magnético Johnson cortesia Johnson A figura 12.105 mostra um produto da Johnson (www.johnsonlevel.com) muito útil em campo e em situações de testes.

A ferramenta é eletrônica e mostra os ângulos medidos num display de cristal líquido de fácil visualização.

Esse instrumento, de baixo custo, permite não só fazer medições de ângulos de caixas acústicas quando fixado magneticamente a suas partes metálicas, mas também possibilitar o cálculo fácil da altura entre o objeto na qual ela está fixada e um nível de referência.

Os recursos incluem botão de calibração, indicador audível de passagem por 0° e por 90°, inversão automática de dígitos para medições tipo overhead, capacidade de até 182,5° e outros.

12.4.7.4 Clinômetro



figura 12.106 clinômetro digital de precisão cortesia SmartTool Este produto foi concebido para durar muito em condições rigorosas de uso em campo. O displêi digital mostra ângulos em graus e percentuais de inclinação ou aclividade, na forma de centímetros de elevação para metros lineares horizontais, com acuidade de 1/10 de grau.

Para usar essa ferramenta, basta apoiá-la sobre uma superfície qualquer, como a base de

uma caixa acústica, e ler a inclinação dessa superfície.

Os controles incluem uma chave off/on, a função “hold”, que retém ou libera a leitura do displêi, ouvir o nível (soa um bip quando o nível é atingido), calibração, seleção de unidades, *etc.*

12.4.7.5 Range Finder



figura 12.107 range finder Scout 1000 ARC

cortesia Bushnell Leitor de distância a laser, com Compensação de Distância por Ângulos (ARC – Angle Range Compensation).

Compacto e otimizado para medição de distâncias com arcos ou curvas. Capaz de mostrar distância exata ao objeto no modo direto, ou distâncias para objetos com mobilidade angular, a exemplo de projéteis disparados por armas de fogo, zoom de 5X e capacidade de medição entre 4,5 a 900 metros.

Dispositivo para montagem em tripé.

12.4.7.6 Range Finder



figura 12.108 Vertex Laser Hypsometer cortesia Haglöf Ferramenta que combina recursos laser, ultrassom e sensor de inclinação. Leituras muito acuradas de distâncias, alturas e ângulos. As medidas podem ser feitas individualmente ou de forma combinada. Por exemplo, medições de distância e medição de inclinação com cálculos de alturas e ângulos feitos automaticamente.

Esta ferramenta possui recursos Bluetooth e função de prisma reverso. Capacidade de transponder.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 13 **infraestrutura:** **suprimento de energia**



Conteúdo do capítulo 13

13. INFRAESTRUTURA, SUPRIMENTO DE ENERGIA

13.1 UM POUCO DE HISTÓRIA

13.2 OS DIAS DE HOJE

13.2.1 Geração

13.2.2 Energia Trifásica e Tipos de Transformadores 13.3 LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA E CIRCUITOS DE DISTRIBUIÇÃO

13.4 FORNECIMENTO PARA CONSUMO

13.5 NEUTRO E TERRA

13.6 SISTEMAS ATERRADOS

13.6.1 Segurança

13.6.2 Confiabilidade

13.6.3 Redução de Custos 13.7 OBTENDO UMA VISÃO PANORÂMICA DOS PROBLEMAS

13.7.1 Extra Edificação 13.7.1.1 Equipamentos Não Técnicos no Mesmo Circuito de Distribuição 13.7.1.2 Sistema Técnico de Energia e Alimentador Dedicado 13.7.2 Infra Edificação 13.7.2.1 Equipamentos Não Técnicos da Mesma Fase 13.7.2.2 Quantidade de Fases 13.7.2.3 Sistema Técnico de Energia e Fase Dedicada 13.7.2.4 Sistema Técnico de Energia e Fase Compartilhada 13.7.2.5 Relação Custo/Benefício 13.7.2.6 Voltagem Nominal e Queda de Voltagem

13.8 QUALIDADE DE ENERGIA

13.8.1 Introdução

13.8.2 Tipos de Distúrbios 13.8.2.1 Variações de Voltagem (Voltage Variation) 13.8.2.2

Surtos

13.8.2.3 Picos (Spikes) 13.8.2.4 Impulsos ou Transientes (Impulses ou Transients)

13.8.2.5 Distensão (Swell) 13.8.2.6 Picote (Sag/EUA, Dip/Inglaterra e

Brownout/Internacional) 13.8.2.7 Queda (Blackout) 13.8.2.8 Queda Transitória

(Dropout) 13.8.2.9 Interrupção de Fornecimento (Outage) 13.8.2.10 Flicker

13.8.2.11 Subvoltagem

13.8.2.12 Sobrevoltagem (Overvoltage) 13.8.2.13 Variação de Frequência

(frequency Drift) 13.8.2.14 Ruído de Radiofrequência (Radiofrequency Noise)

13.8.2.15 Harmônicas (Harmonics) 13.8.2.16 Distorções (Distortions) 13.8.2.16

Ruídos (Noise) 13.8.2.17 Impedância de Baixa Frequência Não Nula (No Zero Low

Frequency Impedance) 13.8.2.18 Impedância de Alta Frequência Não Nula (No Zero

High Frequency Impedance) 13.8.2.19 Contaminação de Terra 13.8.3 Um Pouco

Mais Sobre os Distúrbios 13.8.3.1 Carga Não Linear 13.8.3.2

Transiente/Oscilatório/Amortecido 13.8.3.3 Simples ou Combinado 13.8.3.4 Modo

Comum e Modo Diferencial 13.8.3.5 Frequência

13.8.4 O Potencial Destrutivo dos Distúrbios 13.8.4.1 Variações de Voltagem 13.8.4.2

Surtos (Surges) e Picos (Spikes) 13.8.4.3 Impulsos ou Transientes (Impulses ou

transients) 13.8.4.4 Distensão (Swell) 13.8.4.5 Picotes

13.8.4.6 Quedas (Blackout) 13.8.4.7 Queda Transitória (Dropout) 13.8.4.8

Interrupções de Fornecimento (Outages) 13.8.4.9 Flicker

13.8.4.10 Subvoltagem e Sobrevoltagem 13.8.4.11 Variações de Frequência

13.8.4.12 Ruído de Radiofrequência 13.8.4.13 Harmônicas

13.8.4.14 Distorções

13.8.4.15 Ruídos

13.8.4.16 Contaminação de Terra 13.8.5 Diagnóstico

13.8.5.1 Quando o Diagnóstico é Importante 13.8.5.2 Análise das Circunstâncias

Acessórias 13.8.6 Instrumentos Aplicáveis 13.8.6.1 Monitores de Linha 13.8.6.2

Osciloscópios

13.8.6.3 Voltímetros

13.8.7 Tratamento

13.8.7.1 Contra A Variação de Voltagem 13.8.7.2 Contra Picos (Spikes) 13.8.7.3

Contra Surtos (Surges) 13.8.7.4 Contra Picotes (Sags) 13.8.7.5 Contra Impulsos e

Transientes 13.8.7.6 Contra Picos Positivos e Negativos 13.8.7.7 Sinais Amortecidos 13.8.7.8 Contra Queda (Blackout) 13.8.7.9 Contra Interrupções de Fornecimento (Outages) 13.8.7.10 Contra Ruídos de Radiofrequência 13.8.8 Condicionamento de Linha 13.8.9 Condicionadores Disponíveis no Mercado 13.8.9.1 Os Fabricantes e Seus Produtos 13.8.9.2 Caso Especial 13.8.10 Defesas Contra a Contaminação de Terra 13.8.10.1 Voltagem Induzida 13.8.10.2 Fuga

13.9 A OPÇÃO PELO CONDICIONAMENTO DE LINHA 13.10 A OPÇÃO PELOS SISTEMAS TÉCNICOS DE ENERGIA 13.11 O DOMÍNIO TÉCNICO DA SITUAÇÃO 13.12 SUPRESSÃO DE TRANSIENTES DE CARGAS INDUTIVAS E DE RUÍDOS PRODUZIDOS POR CARGAS GENÉRICAS

13.12.1 Correntes de Distorção e Harmônicos - Sistemas de Energia 13.12.2 Controle de Cargas Indutivas - Tratamento Local 13.13 CONSUMO DO SISTEMA

13. INFRAESTRUTURA, SUPRIMENTO DE ENERGIA

13.1 UM POUCO DE HISTÓRIA Até o último quarto do século XVIII, a tecnologia em nosso planeta era representada quase que exclusivamente por alguns poucos ramos da engenharia, entre os quais a mecânica, a civil e a naval, além de muitos conhecimentos relacionados com a agricultura e com a metalurgia.

A partir de então, a engenharia elétrica ganharia corpo e importância.

Mas foi de 1.925 em diante que a engenharia eletrônica passou a ocupar lugar de nítido destaque entre muitas outras áreas da ciência.

E havia bons motivos para tanto.

Adventos como o telégrafo, o rádio, o telefone, a energia pública, e alguns outros, não deixavam quaisquer dúvidas de que avanços tecnológicos de monta já vinham acontecendo há algum tempo.

E mais do que nunca, em tanta quantidade e qualidade. Era previsível que estávamos no limiar de uma nova era, que se caracterizaria por proporcionar um nível de conforto para a humanidade jamais atingido antes.

Havia a percepção de que era preciso investir somas elevadas nessas tecnologias. E os esforços havidos nesse sentido indiretamente colocavam a engenharia elétrica numa indiscutível posição de liderança.

Ao contrário das engenharias mecânica, naval e civil, que praticamente se desenvolveram em função de atividades principalmente práticas e empíricas, a engenharia elétrica se desenvolveu muito e rapidamente, graças a estudos, pesquisas científicas e conclusões bem fundamentadas, quase todas elaboradas anteriormente, e que se constituíam numa excelente retaguarda de suporte.

Pode-se dizer que quase todo o desenvolvimento contemporâneo que passou para a história foi totalmente lastreado nos princípios básicos da eletricidade e do magnetismo, que já estavam à disposição.

Estudiosos como Franklin, Faraday, Ampère, Ohm, Oersted e Henry, para citar apenas poucos, excitaram as imaginações dos inventores da época, como Devenport, de Vermont, que em 1.834 pensou no primeiro motor elétrico de que se tem notícia.

Em 1.860 Antonio Pacinotti construía o primeiro dínamo de corrente contínua, também baseado em pesquisas e estudos já disponíveis.

Muitos consideram que o marco zero da era da energia elétrica se deve a Morse, com seu telégrafo de 1.837, e a Graham Bell, com o telefone de 1.875.

Logo depois da invenção do telefone já haviam sistemas de geração e de distribuição de energia pública. Contudo, projetados para operar com pilhas secas, acumuladores e baterias, usados como elementos geradores de energia.

O que não era tão problemático, já que esses sistemas precisavam ser adequados apenas para trabalhar com os sistemas telegráficos e telefônicos de pequeno porte, como os da época.

A primeira vez que o homem empregou energia elétrica comercial em escala relativamente grande foi para energizar lâmpadas incandescentes, destinadas à iluminação pública.

Nesse campo, Thomas Alva Edison foi um verdadeiro prodígio.

Após muitas tentativas e experiências, em 1.877 a cabeça privilegiada de Edison entendeu que o problema da iluminação pública era um complexo muito maior do que os estudiosos da época pensavam, e que ultrapassava bastante as fronteiras de um projeto feliz de lâmpada incandescente.

Uma das primeiras conclusões a que Edison chegou é que não seria possível desenvolver um sistema de iluminação pública com as lâmpadas então existentes.

O gênio já havia vislumbrado que as baixíssimas resistências elétricas dos filamentos de todas as lâmpadas da época inviabilizariam de partida quaisquer esforços inventivos, pois consumiriam quantidades descomunais de energia.

Com aquelas lâmpadas, a geração e distribuição de energia exigiriam soluções caríssimas e de implantação difícilíssima, se não, impossível.

Era preciso que as resistências dos filamentos fossem consideravelmente aumentadas, sem perda de capacidade de iluminação. Se possível, com aumento dessa marca.

Edison sabia que para obter o que queria, teria que trabalhar com novos materiais. Pesquisando incansavelmente, e depois de muitas experiências práticas, o primeiro objetivo foi superado com o emprego de filamentos carbonizados.

O segundo objetivo, ligado ao anterior, era de difícil superação.

O bulbo das lâmpadas teria que trabalhar sem a presença de oxigênio. Era imperativo extrair o ar de seu interior.

Edison não só chegou a esta conclusão, como também desenvolveu um processo completo e extremamente criativo para a extração de ar dos bulbos, já em caráter de linha de produção! Não sem grandes dificuldades, mas a lâmpada elétrica estava totalmente redefinida.

Em 1.879 a patente (nº US 222.898) da lâmpada elétrica era concedida a Edison. Com méritos de sobra.

Sua mentalidade científica e aguçada também já havia percebido que o problema da lâmpada em si, embora importante, era algo secundário no contexto geral do sistema que estava sendo concebido.

O que Edison compreendeu de fato, aliás com uma incrível visão de sistema, totalmente orientada para a obtenção de resultados práticos, foi que o melhor a fazer seria combinar uma série de dispositivos elétricos para chegar a um sistema maior, coerente, completo, e para a época, bastante complexo.

Foi então que esse gênio da humanidade pensou no circuito paralelo, e numa quantidade assombrosa de detalhes mais.

Além de aperfeiçoar a lâmpada elétrica, Edison pensou e resolveu todos os problemas relacionados com a geração de energia e com sua distribuição.

Com relação à energia, os circuitos domésticos, os comerciais e os industriais foram desenvolvidos a partir do nada.

Incluindo-se detalhes como soquetes para lâmpadas, inúmeras peças necessárias para as fixações mecânicas de todos os dispositivos, e assim por diante.

Até mesmo itens como interruptores e muitos outros acessórios foram desenvolvidos como subprodutos indispensáveis para o funcionamento adequado do todo.

Para que a energia gerada fosse mais estável, o inventor também aperfeiçoou o motor a vapor, componente chave utilizado em seu sistema de produção da eletricidade.

O objetivo, que evidentemente foi alcançado, era obter voltagens mais estáveis e reguladas.

Até o wattímetro foi por ele inventado, para que a energia consumida pudesse ser convenientemente medida, registrada e cobrada com justiça na proporção do consumo.

Até que em 1.880 o sucesso sem precedentes veio com a famosa demonstração pública de Menlo Park. Num dia feliz para a humanidade, nascia a iluminação pública para o mundo.

O que devemos ao “feiticeiro de Menlo Park”.

13.2 OS DIAS DE HOJE

13.2.1 Geração

Atualmente, a energia elétrica em larga escala no mundo todo é gerada nas usinas elétricas.

Essa forma de energia é produzida por geradores CA, que para isso devem ser movimentados. E portanto, o processo inicia de fato com a produção de qualquer outra forma de energia, que não a elétrica, usada para acionar os geradores.

Nas usinas a combustível, qualquer tipo de combustível é a matéria prima usada para gerar energia térmica (calor), que é em seguida convertida em energia mecânica, e esta, por sua vez, convertida em energia elétrica pelos geradores.

O processo de obtenção de energia elétrica nas usinas a vapor d'água é semelhante ao das usinas a combustível, até porque é preciso algum tipo de combustível para obter o vapor d'água.

Nas usinas hidrelétricas, a força das quedas d'água é a energia mecânica usada para movimentar as turbinas hidrelétricas, que em seus estágios finais movimentam os geradores.

As usinas nucleares usam o plutônio ou o urânio enriquecido como combustível. A chamada fissão nuclear de quantidades ínfimas desses materiais produz enormes quantidades de calor. Por processos distintos, correspondentes a diferentes tecnologias, o calor acaba por movimentar as turbinas, e finalmente, a energia é produzida pelos geradores.

Embora haja outras formas de gerar energia, por exemplo com motores-geradores pequenos, pilhas secas, baterias, acumuladores, etc., essas alternativas usualmente ficam reservadas para pequenos sistemas, só acionados em ocasiões de emergência, como por exemplo durante falhas de suprimento.

Transportar energia elétrica através de fios elétricos é bem mais fácil e econômico do que transportar continuamente carvão ou quaisquer outros combustíveis por longas distâncias.

Essa é a razão pela qual as usinas que usam combustíveis ficam sempre nas proximidades dos centros de abastecimento das matérias primas que utilizam.

As usinas hidrelétricas só podem ser construídas em locais especiais, junto a bacias naturalmente muito irrigadas. Escolhe-se o rio com maior vazão entre todos os da bacia considerada, e suas águas são represadas com a construção de barragens. Assim são formados lagos imensos. As águas desses lagos, caindo de uma certa altura, movimentam as turbinas.

Os decantados perigos atribuídos às usinas nucleares fazem com que ninguém as queira por perto.

Portanto, a regra geral é implantar usinas de energia elétrica sempre muito longe dos grandes centros de consumo.

13.2.2 Energia Trifásica e Tipos de Transformadores Na demonstração feita por Edison em Menlo Park, a linha de transmissão de energia utilizava apenas dois fios, formando um só circuito monofásico.

Em 1.882 Edison já era também um bem sucedido empresário, e dono de uma empresa de consultoria em engenharia.

Ainda nesse ano, ele foi contratado para desenvolver o sistema de distribuição de energia a ser implantado na cidade de Sunbury, Penn. Os dados preliminares levantados indicavam a necessidade de dois circuitos. Que na ocasião não eram CA, mas CC.

Como o orçamento era limitado, a economia em cobre era um requisito imperativo. Diante disso, a equipe de Edison imaginou uma técnica de distribuir os dois circuitos necessários utilizando apenas três fios. O que veio a ser implantado com sucesso inquestionável. E com esse sistema nascia também o conceito de condutor neutro.

Tal sistema, inusitado e sem registros de ter sido imaginado anteriormente, é o legítimo precursor dos modernos sistemas de distribuição de energia.

Devo acrescentar que o mundo todo ainda utiliza inúmeras versões CA e CC do circuito original de Edison.

O projeto inicial do sistema de energia do complexo Niagara Falls, liderado por George Westinghouse e supervisionado por Nicolai Tesla, usava os princípios do sistema de Edison. Mas introduzia a forma CA ao invés da CC. E isso acabou se tornando uma espécie de padrão internacional de distribuição de energia.

Portanto, doravante vamos raciocinar apenas em termos de energia CA.

De fato, linhas de transmissão com mais do que dois fios permitem a obtenção de grandes vantagens. Entre cada par de fios pode-se aplicar uma voltagem alternada, de modo que a corrente elétrica caminhe por um dos fios e retorne pelo outro.

Os pares de fios podem ser combinados, e as alternâncias das voltagens aplicadas aos diferentes pares podem ser ligeiramente atrasadas, umas em relação às outras.

Com isso, os valores máximos que as correntes atingem em cada par acontecem em momentos diferentes. É exatamente por isso que os fios são facilmente compartilhados, já que qualquer deles pode, ao mesmo tempo, ser o portador da corrente de saída de um circuito, e o portador da corrente de entrada de outro.

Pelo fato das correntes elétricas não atingirem seus valores máximos simultaneamente, a corrente dos circuitos combinados produz, na linha de transmissão, perdas muito inferiores ao que ocorreria se os valores máximos fossem atingidos simultaneamente.

Essa diferença de tempo é denominada diferença de fase. E os circuitos assim combinados são os polifásicos. O termo **poli** pode significar três, quatro e mesmo mais fases, ou circuitos

trifásicos, tetrafásicos, pentafásicos, e assim por diante.

Mas por serem os mais eficientes e vantajosos, hoje em dia os circuitos trifásicos praticamente constituem uma das regras que tornou-se padrão internacional.

Como vimos, as usinas de geração de energia e os grandes centros de consumo geralmente estão muito distantes entre si.

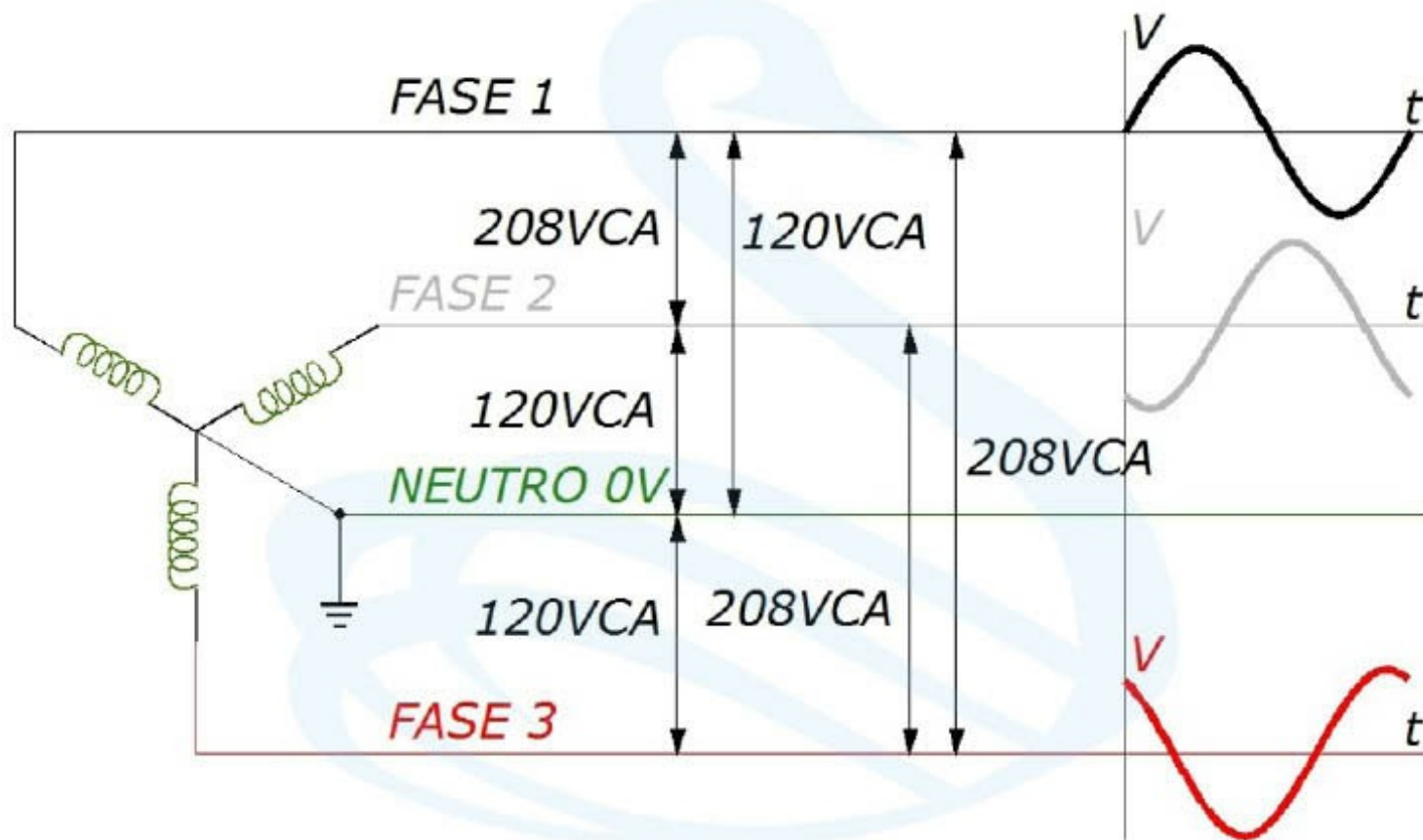


figura 13.1 ilustração de energia trifásica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O transporte da energia elétrica sobre cabos se faz com passagem de corrente elétrica. O que gera calor.

A quantidade de calor gerado é proporcional ao quadrado da intensidade da corrente elétrica. Portanto, quanto menor for a corrente, mais eficiente será o transporte, pois menores serão as perdas.

Se lembrarmos que potência elétrica é o produto da voltagem pela corrente elétrica, entenderemos que para transportar potências elétricas elevadas, quanto menor for a corrente, maior deverá ser a voltagem.

O que explica os elevados valores de voltagem produzidos pelas usinas elétricas.

Os valores típicos dessas voltagens de energia trifásica são: 138, 230, 345, 500, 600 e 750 KV (quilovolts).

A figura 13.1 nos ajudará a interpretar melhor o conceito de energia trifásica.

Vemos que trata-se de um sistema a quatro fios, no qual são produzidas três formas de ondas sinusoidais, ou três fases.

Há um fio para cada fase, e o quarto fio é o condutor neutro. Lembrando que por convenção o ciclo completo equivale a 360° , vemos que há uma diferença de 120° de cada uma das fases

com relação às outras duas.

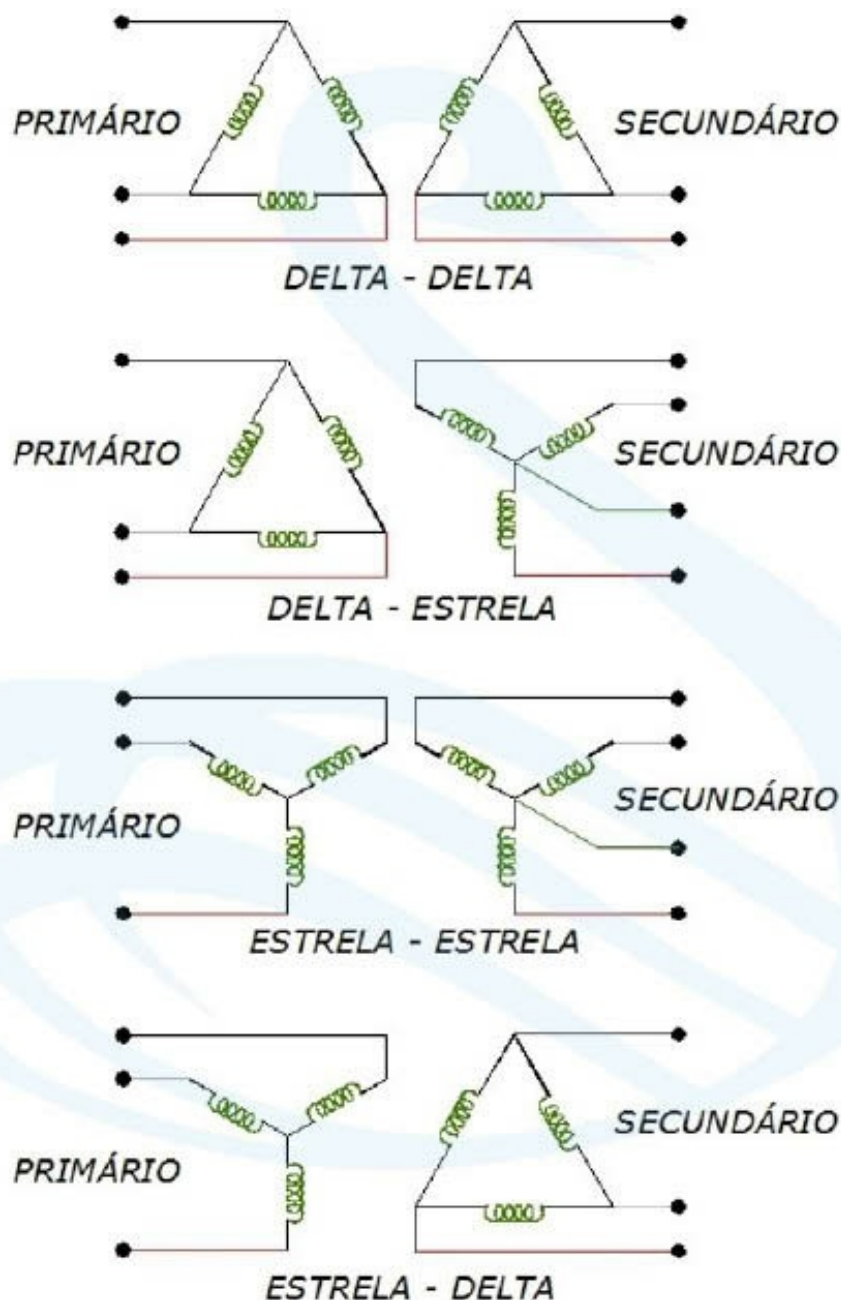


figura 13.2 diferentes configurações de transformadores trifásicos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há um fio para cada fase, e o quarto fio é o condutor neutro. Lembrando que por convenção o ciclo completo equivale a 360° , vemos que há uma diferença de 120° de cada uma das fases com relação às outras duas. Cada vez que se converte uma voltagem trifásica em outra, é preciso usar um transformador trifásico. Os transformadores trifásicos podem ser fabricados com diferentes configurações, chamadas delta-delta, delta-estrela, estrela-estrela e estrela-delta, como ilustra a figura 13.2. O condutor comum ligado na junção das três fases do transformador estrela-estrela, é o condutor neutro.

Quando os valores das correntes elétricas dos três circuitos são rigorosamente iguais e as diferenças de fase são exatamente de um terço de ciclo completo, no caso 120° , não há circulação de corrente pelo neutro. Mas essa condição ideal dificilmente pode ser mantida por muito tempo.

O condutor neutro pode ser um condutor físico, ou quarto fio, ou pode ser aterrado.

Neste caso, é praticamente consensual que há vantagens relacionadas com segurança, confiabilidade e custos. A seleção de uma ou outra configuração de transformador está

relacionada com as respectivas características, que podem ser resumidas como segue:

- enrolamentos estrela facilitam a obtenção do condutor neutro
- os enrolamentos delta oferecem dois tipos de voltagem: entre fases e entre quaisquer fases e neutro
- as configurações delta-estrela e estrela-delta simplificam a redução ou aumento de voltagem, por uma característica que lhes é inerente, de manter uma relação de voltagens de 1,00:1,73

13.3 LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA E CIRCUITOS DE DISTRIBUIÇÃO

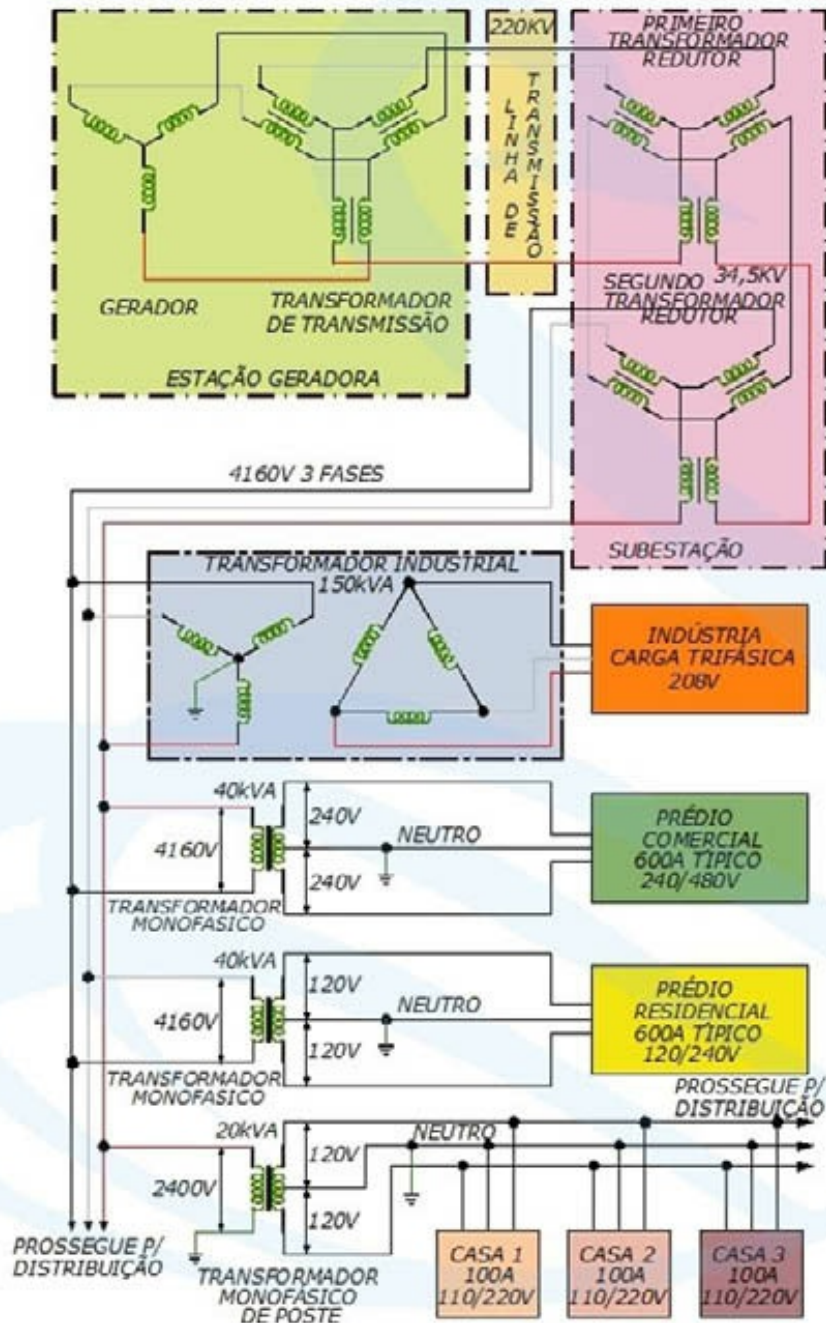


figura 13.3 esquema básico de geração, transmissão e distribuição de energia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma vez que as usinas de geração de energia ficam invariavelmente longe das cidades, desde que a energia pública é uma realidade, a engenharia se esforçou muito e investiu consideravelmente em pesquisas com o transporte de energia.

Em praticamente todos os casos reais, o transporte da energia partindo da usina geradora para os grandes centros de consumo é um longo caminho.

Tudo isso envolve elevados investimentos e aplicação de tecnologia avançada em vários

setores.

Não há qualquer dúvida que as elevadas voltagens trifásicas produzidas nas usinas geradoras seriam altas demais para oferecer um mínimo de segurança nas ruas de quaisquer cidades, por maiores que essas possam ser.

Por outro lado, valores mais reduzidos de voltagem, considerados suficientemente seguros para as ruas das cidades, não seriam adequados para o transporte eficiente da energia através de grandes distâncias.

A solução foi dada à luz desse quadro.

Por isso, uma vez feito o transporte da energia em altas voltagens sobre longas distâncias, através das linhas de transmissão, e já nas proximidades dos centros de consumo, é preciso reduzir as voltagens de transporte para valores práticos, bem inferiores.

Um primeiro banco de transformadores instalados numa subestação reduz as altas voltagens para valores intermediários.

Os secundários desses transformadores são ligados a barramentos, de onde a energia, com valores intermediários de voltagem, é distribuída para diversas áreas, através de circuitos de distribuição.

Em certos locais dessas áreas, a voltagem intermediária é novamente reduzida para fornecimento ao consumo.

13.4 FORNECIMENTO PARA CONSUMO

A figura 13.3 ilustra um esquema típico de transmissão e de distribuição, e ainda, dá uma pequena ideia de como é feito o fornecimento primário para o consumo.

Entretanto, os casos de fornecimento são tratados de acordo com as faixas de consumo, ou cargas.

A figura 13.4 ilustra os casos mais comuns de fornecimento final para consumo.

Na figura 13.4.A está o mais simples e corriqueiro caso de fornecimento.

Trata-se de fornecimento de 120 volts CA, com circuito monofásico. Esse tipo de instalação é aplicável a residências e imóveis com exigências mínimas de carga.

O circuito é denominado monofásico porque um dos ramos de entrada corresponde a qualquer das fases da distribuição trifásica. O outro ramo é proveniente do neutro, e não de qualquer das outras fases.

A figura 13.4.B mostra o provável segundo caso mais simples de fornecimento.

As voltagens disponíveis são 120 e 240 volts. O circuito continua sendo monofásico, pela mesma razão do caso anterior.

Mas agora, a três fios.

Estas instalações, talvez as mais comuns para as residências, também são aplicáveis a pequenos edifícios, escolas, oficinas e outros estabelecimentos sem exigências muito elevadas de cargas.

Para cargas médias já são empregados circuitos trifásicos.

Como o da figura 13.4.C. O circuito é trifásico porque as três fases provenientes da usina geradora são utilizadas.

Elas são ligadas aos enrolamentos primários do transformador, não indicados no desenho. O transformador representado é do tipo estrela-estrela. Por isso, além de ser trifásico, o fornecimento é a quatro fios, sendo três para as fases, mais um para o neutro. As voltagens fornecidas são 120 e 208 volts CA. A voltagem 120 volts serve para iluminação e tomadas convencionais de energia.

A figura 13.4.D mostra o típico fornecimento para cargas elevadas.

O circuito é trifásico a três fios, e a voltagem fornecida, no caso deste exemplo, é 240 volts.

Cargas muito elevadas, geralmente em razão da presença de muitos motores e máquinas elétricas, exigem arranjos semelhantes ao da figura 13.4.D, mas com voltagens mais elevadas, como os 480 volts indicados na figura 13.4.E.

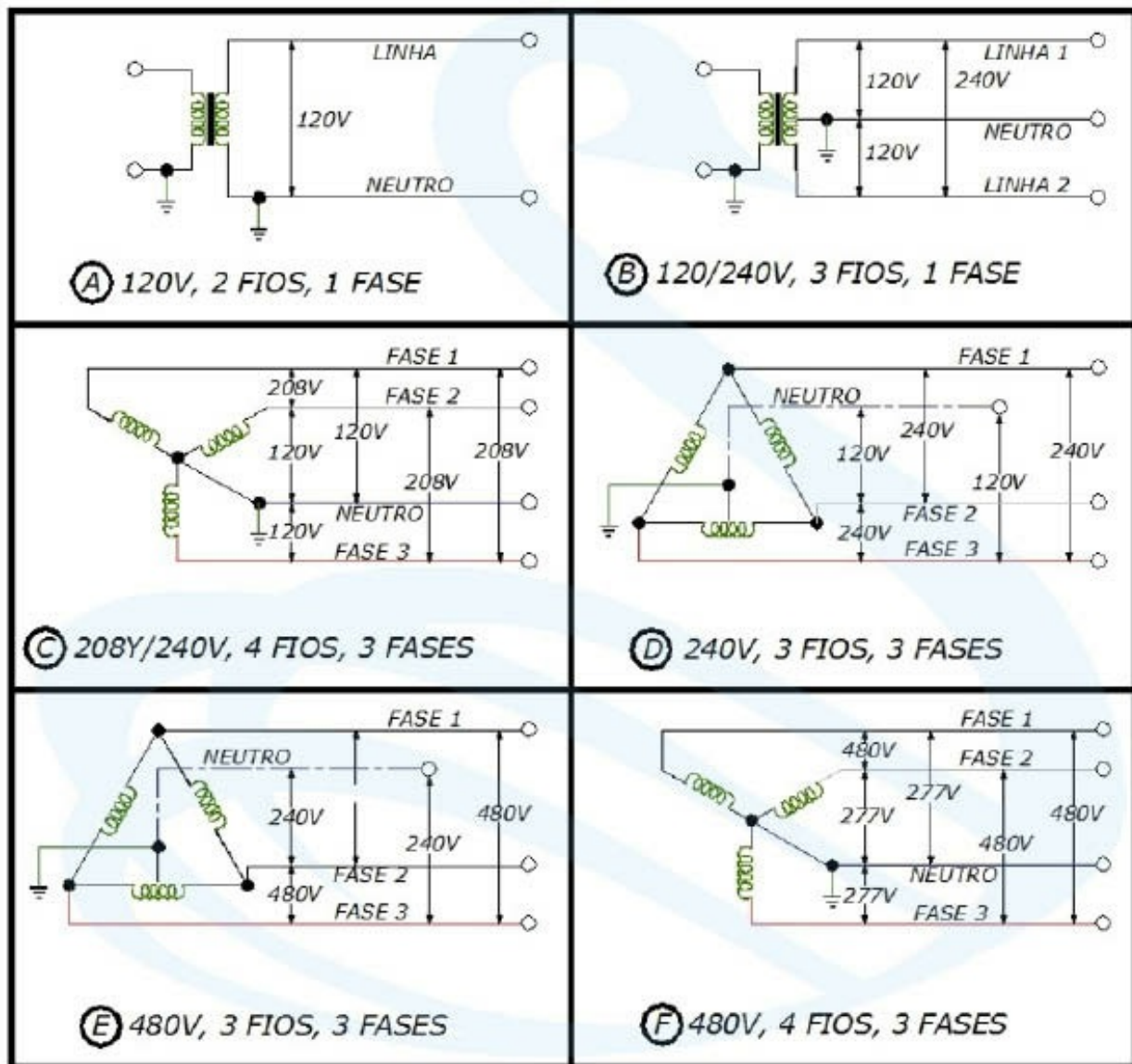


figura 13.4 casos mais comuns de fornecimento de energia para o consumidor final acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para cargas muito elevadas, com várias necessidades de voltagens, uma boa opção é o que mostra a figura 13.4.F. O circuito é trifásico a quatro fios. As voltagens fornecidas são 480 volts, utilizados para máquinas e motores, principalmente os trifásicos, e 277 volts. Esta voltagem é utilizada diretamente para iluminação, e também, para a derivação de voltagens menores, como 208 e 120 volts. Esta última para tomadas convencionais de energia.

13.5 NEUTRO E TERRA

Falamos de condutor neutro quando discutíamos o circuito original de Edison.

Uma de suas definições é que este é um condutor comum a duas ou mais fases.

Devemos lembrar agora que estamos empregando o jargão específico dos sistemas de energia elétrica.

Isso posto, podemos enfatizar o que já tínhamos visto sobre o neutro. Isto é, que ele pode ser aterrado ou não. Ao contrário, com o condutor terra não há opções. Ou ele está aterrado ou não é um condutor terra.

Sobre o condutor neutro, em que pesem as vantagens de seu aterramento, há especialistas que pensam o contrário.

Especialmente quando é previsível que as correntes que circularão por esse condutor podem ser relativamente elevadas.

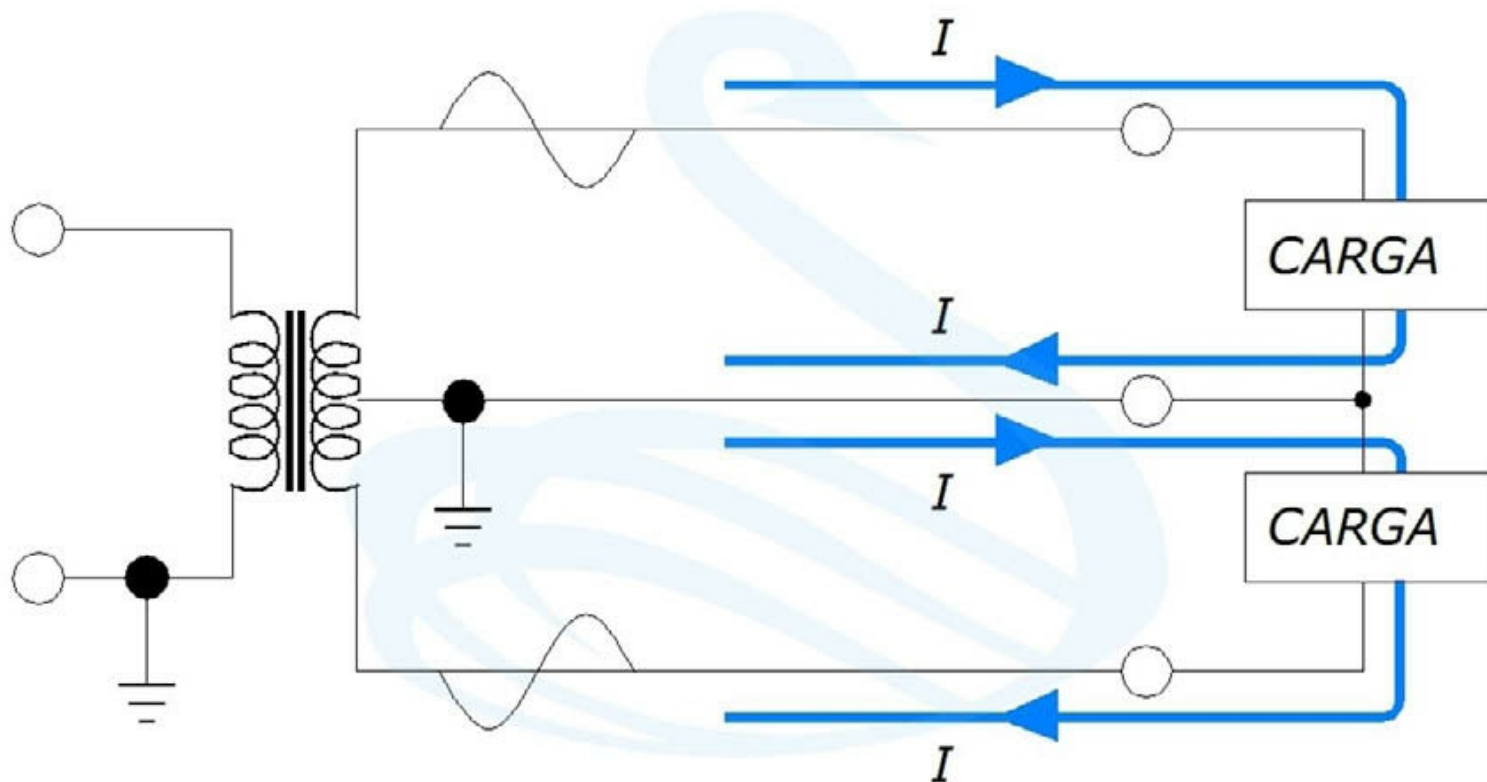


figura 13.5 situação na qual as correntes do condutor comum se cancelam acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 13.5, muito semelhante à figura 13.4.B, representa uma situação hipotética na qual cada linha está drenando uma corrente (I) de exatamente 10 ampères. Como se depreende do esquema, nesta condição não há circulação de corrente elétrica pelo condutor comum, já que as duas correntes, uma de cada linha, se cancelam.

Vejamos melhor um aspecto, que em geral causa muitos desentendimentos. Atenção para a parte inferior da figura 13.3. O nome técnico desse fornecimento é 120/240 VCA a 3 fios. E trata-se de um fornecimento monofásico.

Percebe-se que o transformador de poste indicado na figura é, de fato, alimentado por apenas uma fase da distribuição externa. Nesse caso específico, não há sentido em se falar em duas fases numa referência aos terminais secundários do transformador. Até porque esses dois

ramos da alimentação são provenientes da mesma fase de distribuição.

Chamá-los de ramos ou de linhas parece mais correto do que chamá-los de fases.

Agora, observem o condutor que parte do tap central do secundário do transformador. Ele sequer é aterrado. Mas, independentemente disso, pela própria definição de neutro, esse condutor comum não pode ser considerado como tal. O termo “comum” é aplicado com mais adequação.

Mas como dizem, vox populi vox Dei. E pelo mundo todo as duas linhas em antífrase, que a rigor são ambas provenientes da mesma fase do fornecimento principal, são chamadas de fases, e o condutor comum de neutro interno, e muitas vezes, simplesmente neutro.

Na verdade, não devemos nos importar muito com os nomes dados aos condutores. Mas devemos saber sempre ao que se está referindo.

Convém ressaltar que a denominação neutro para o condutor que parte do tap central do secundário dos transformadores definitivamente se firmou de modo permanente por todo o mundo. Isso ganhou popularidade com a padronização obrigatória do uso de tomadas com 3 pinos (fase, neutro e terra) por todos os países civilizados, e por muitos e muitos dos que estão em estágio de desenvolvimento, e até mesmo por vários dos subdesenvolvidos.

Mas aguardem. Nossa vez há de chegar.

13.6 SISTEMAS ATERRADOS

Vimos que o termo sistema de energia aterrado engloba o aterramento de sistema e o aterramento de equipamento. O que significa que um sistema de energia só pode ser considerado aterrado se houverem os dois aterramentos, o de sistema e o de equipamento.

Vimos também que aterramento de sistema é o nome dado ao conjunto das conexões que leva à terra quaisquer condutores de um sistema de transmissão de energia, que em condições normais de uso **portam** corrente elétrica. Isto pode ser feito no gerador ou no transformador de origem, e novamente nos pontos de distribuição, como por exemplo no quadro de entrada das edificações. Como mostra a figura 13.3.

O aterramento de equipamento é definido como o conjunto de conexões que leva à terra quaisquer partes metálicas de um sistema de transmissão de energia, ou partes e estruturas metálicas ligadas a ele, que em condições normais de operação **não portam** corrente elétrica.

Os benefícios obtidos com a combinação dos aterramentos de sistema e de equipamento são a **segurança**, a **confiabilidade** e a **redução de custos**. Neste caso, o sentido do termo segurança é proteção contra riscos de vida e acidentes pessoais por efeito de choques elétricos, além da proteção contra riscos desnecessários de incêndio.

Dos três benefícios citados, o de maior importância é, sem qualquer sombra de dúvida, a segurança. Se fosse preciso sacrificar a confiabilidade e aumentar os custos para preservar a segurança, certamente seria esse o caminho a seguir.

Mas com os sistemas de energia aterrados, não é preciso sacrificar nada. O benefício segurança é obtido juntamente com aumento da confiabilidade e com a redução dos custos.

É por isso mesmo que sistemas de energia aterrados são padrão em todos os países da América do Norte, da Europa, na Austrália, no Japão e assim por diante.

Para identificar num relance quando o sistema de energia é aterrado, basta olhar para as tomadas CA das paredes. O sistema provavelmente será do tipo aterrado se as tomadas tiverem 3 pinos, denominados fase, neutro e terra.

No passado desses países que já adotaram sistemas de energia aterrados como padrão, houve uma época em que os sistemas de energia ainda não eram aterrados. E foram exatamente eles os responsáveis por muitos e muitos incêndios de grandes proporções, que praticamente varreram cidades inteiras do mapa.

No Brasil, os noticiários de TV continuam a testemunhar vários incêndios que ocorrem em prédios, fábricas, depósitos, e outras instalações, com suspeitas de que a causa tenha sido um curto-circuito na fiação elétrica. Como se isso fosse absolutamente normal, aceitável e inevitável. É de pasmar !!!

13.6.1 Segurança

Os cabos elétricos que conduzem a energia das usinas para nossas residências, indústrias, e mesmo para as áreas rurais, estão expostos a raios e descargas atmosféricas.

Se ligarmos essa ideia à do para-raios, veremos que é preciso encontrar uma maneira de aterrar o sistema de energia elétrica.

E é nesse exato momento que entra em cena o conceito de aterramento de sistema (system grounding).

A segurança de um sistema de energia elétrica é determinada por alguns fatores: • quantas vezes ele falha, expondo pessoas e equipamentos a perigos • quais são os graus de perigo a que pessoas e equipamentos estão sujeitos • por quanto tempo ficam pessoas e equipamento sujeitos ao perigo Os sistemas mais seguros são aqueles que falham menos vezes, com períodos de falhas mais curtos, os que minimizam o grau desse perigo, se inevitável, e principalmente, os que respondem mais rapidamente em casos de falhas envolvendo perigo. Essa resposta é a inibição preventiva parcial ou total do sistema.

13.6.2 Confiabilidade A confiabilidade de um sistema de energia não é determinada apenas pelo critério óbvio de quantas vezes ele falha. Outros fatores determinantes são a facilidade com que as falhas podem ser localizadas e a velocidade média com que os reparos são feitos.

Além disso, a auto capacidade do sistema de proteger a si próprio e a suas cargas contra os efeitos de transientes e sobrevoltagens produzidas por raios e outros distúrbios, é um dos fatores da confiabilidade.

13.6.3 Redução de Custos O custo total de um sistema de energia inclui instalações de geração, transmissão e distribuição, bem como custos de conservação e de manutenção, reparos, e consequências das falhas. Especialmente sobre os itens energizados pelo sistema de energia, como eletrodomésticos, máquinas, motores e sistemas técnicos.

Os sistemas aterrados reduzem todas essas formas de custo.

Entretanto, para a maioria dos sistemas técnicos, como um sistema permanente de sonorização, o custo da parte do sistema de energia utilizada para acionar o sistema técnico é muitas e muitas vezes menor do que o do próprio sistema técnico. Assim, a consideração com custos deixa de ser importante, e o critério técnico passa a ser o preponderante. Ou deveria.

13.7 OBTENDO UMA VISÃO PANORÂMICA DOS PROBLEMAS

Predizer quais serão as condições de suprimento de energia para um sistema técnico pode ser muito mais simples e mais rápido do que a maioria dos técnicos suspeita. E nada existe de misterioso nem de místico quando essas previsões são antecipadas na direção correta.

É perfeitamente possível que nos municiemos de informações simples, que em conjunto nos permitam avaliar que técnicas de energia poderão ser requeridas diante de cada caso.

De fato, podemos coletar dados específicos, de modo que tenhamos uma visão panorâmica dos problemas potenciais de energia.

Essas informações podem e devem ser obtidas e trabalhadas de maneira sistemática.

A linha de ação sugerida é avaliar individualmente as ocorrências extra e infra edificação.

13.7.1 Extra Edificação 13.7.1.1 Equipamentos Não Técnicos no Mesmo Circuito de Distribuição Antes de verificar as condições de suprimento dentro de uma edificação, é conveniente que verifiquemos se o circuito externo de distribuição de energia elétrica, do qual o sistema de áudio em análise vai se servir, também atende a outros equipamentos não técnicos na vizinhança.

Para tanto, começamos por avaliar o tamanho da edificação com a qual estamos trabalhando. Se o porte é grande, é provável que o circuito externo de alimentação que a atende seja diretamente proveniente de um centro de distribuição.

Portanto, sem atender a qualquer outra instalação.

Mas se estamos falando de um prédio pequeno, então é praticamente certo que nossa edificação compartilhe um mesmo circuito de distribuição com várias outras pequenas edificações. Essa situação é típica de instalações residenciais e de pequenos prédios.

No primeiro caso, sabendo que não há equipamentos não técnicos compartilhando os mesmos condutores que nos trazem energia, podemos concluir que eventuais problemas estarão mais sob controle.

No segundo caso, poderemos avaliar a situação, inclusive concluir pela elevada possibilidade de que as linhas venham a ser portadoras de ruídos.

Mas dificilmente teremos como contornar problemas desse gênero, uma vez que geralmente os mesmos fogem totalmente de nosso controle.

Quando algumas instalações compartilham um mesmo circuito externo de distribuição, geralmente há um transformador redutor de voltagem fixado num poste, projetado para atender vários prédios na mesma rua, e eventualmente, adjacências.

Para que esses transformadores possam suprir o consumo que lhes é exigido, devem ser capazes de entregar muitas centenas de ampères.

Assim, sua capacidade de entregar energia é consideravelmente superior do que os consumos individuais de cada prédio, o que faz deles transformadores muito estáveis.

Portanto, capazes de absorver ruídos produzidos nas linhas que conduzem energia para os prédios. E essa é uma das formas de filtragem de ruídos da rede.

As próprias linhas, por sua vez, também se comportam como filtros de ruídos. Sua capacidade de filtragem é, em boa parte, determinada pelo comprimento físico da linha.

Essa situação de dupla filtragem cria um leque de possibilidades, as quais dependem apenas das posições relativas do transformador redutor, da fonte de ruído e da edificação.

De fato, se a fonte de ruído estiver próxima do transformador, este absorverá parte substancial dos ruídos. Assim, mesmo que nosso prédio fique próximo da fonte de ruído, os efeitos serão bastante atenuados pelo transformador.

E se nosso prédio estiver afastado da fonte de ruídos e do transformador, então o efeito de filtragem da linha acentuará ainda mais a atenuação dos ruídos.

A situação ideal ocorre quando nosso prédio está muito longe da fonte de ruídos, e bastante próximo do transformador.

E o pior caso é quando o prédio está próximo da fonte de ruídos, e muito afastado do transformador.

Quando este for o caso, pode-se verificar com a concessionária local de energia da possibilidade de se instalar um transformador redutor próximo a nosso prédio. Se isso não for possível, há uma medida alternativa que poderá ser de alguma ajuda. É a instalação de um transformador 1:1, já a partir da baixa voltagem.

A ajuda será tão mais eficaz quanto maior for o efeito de filtragem de transientes do transformador.

13.7.1.2 Sistema Técnico de Energia e Alimentador Dedicado É sempre possível que haja um circuito externo de distribuição exclusivo para as grandes edificações.

Naturalmente, as fontes de energia que alimentam esses circuitos de distribuição devem ter capacidade de suprimento muito maior do que a de cada circuito, individualmente considerado.

Tal condição estabiliza bastante a forma de distribuição. E esta é, ainda, uma excelente condição para alimentação de um sistema técnico de energia.

13.7.2 Infra Edificação Os aspectos discutidos a seguir referem-se todos a condições internas das edificações, que dão continuidade às verificações até aqui analisadas.

13.7.2.1 Equipamentos Não Técnicos da Mesma Fase Sistemas de áudio pequenos e médios, ou os de grande porte com equipamentos instalados num mesmo local, isto é, sem equipamentos remotos, são todos usualmente alimentados por uma das fases do sistema de energia trifásico da edificação.

Geralmente, esta mesma fase também alimenta inúmeros outros equipamentos não técnicos, a exemplo de motores, reatores e cargas indutivas.

Para podermos classificar melhor as cargas dessas fases, devemos considerar que geladeiras, aparelhos de condicionamento de ar, lâmpadas fluorescentes, dimmers e outros tantos são classificados como equipamentos não técnicos.

No caso de instalações já existentes, a primeira coisa a fazer é relacionar todas essas cargas potencialmente ruidosas, para depois prescrever o tratamento indicado.

13.7.2.2 Quantidade de Fases Todos os aparelhos de áudio exibem uma pequena capacitância entre a circuitação eletrônica e as respectivas carcaças metálicas, envolvendo inclusive as fontes de alimentação.

Como consequência, na maior parte das carcaças dos aparelhos se constata uma pequena variação de voltagem em relação ao terra do sistema, geralmente na frequência da alimentação CA. Essa voltagem resulta do acoplamento criado pela capacitância mencionada.

Sendo a carcaça o RSPZ secundário, a referência passa a exibir essas mesmas variações de voltagem.

Quando todos os equipamentos são alimentados por uma mesma fase, as variações de voltagem, comuns a todos os equipamentos, como que perdem seu efeito, uma vez que a referência para todos os equipamentos, embora variável, é aproximadamente a mesma.

Ou seja, todos os aparelhos terão suas referências oscilando da mesma forma, e nos mesmos momentos.

Entretanto, quando os aparelhos de um mesmo sistema não são mais alimentados pela mesma fase, as diferenças de voltagem dos referenciais estabelecidos para os RSPZ variam de acordo com as diferentes fases. E por isso, podem ser facilmente criados ruídos de terra de modo comum.

Que são usualmente amplificados pelos sistemas.

Os efeitos tendem a se agravar com a complexidade das rotas dos sinais através dos equipamentos, e também, com os ganhos mais elevados dos aparelhos envolvidos.

Quando este problema existe, e os sistemas estão incorretamente aterrados, e pior ainda, há neles conexões não balanceadas e de altas impedâncias, muitas vezes se chega a situações práticas de impossibilidade operacional, ou de ausência de alternativas para a convivência com os ruídos.

A relação S/R de um sistema pode ser significativamente degradada até por efeitos moderados desse problema.

Assim, a quantidade de fases é de especial importância para todos os sistemas que devem operar apresentando amplas gamas dinâmicas, como os instalados em estúdios de gravação e em estúdios de pós-produção.

Isso também é válido para muitos sistemas de reforço de áudio, especialmente para aqueles instalados em teatros e auditórios acusticamente bem tratados.

Pelos motivos expostos, a quantidade ideal de fases utilizada pelo sistema de áudio é sempre uma só.

Muitas vezes isso não é possível, principalmente quando se trata de sistemas de locação de grande porte, que geralmente são energizados por sistemas trifásicos de energia.

13.7.2.3 Sistema Técnico de Energia e Fase Dedicada De modo a evitar que equipamentos não técnicos possam compartilhar dos condutores que alimentam um sistema técnico de energia, idealmente haverá uma fase exclusivamente dedicada a este sistema técnico.

Às vezes, ter uma fase dedicada significa ter também um enrolamento dedicado do transformador de entrada.

13.7.2.4 Sistema Técnico de Energia e Fase Compartilhada Pelas razões antes discutidas, uma das informações que devemos buscar logo de início é o tipo de alimentação que atende ao prédio em questão. Queremos saber se ele é alimentado por uma fase a dois fios, ou por uma fase a três fios, ou por três fases a três fios, ou por três fases a três fios com neutro, ou por três fases a quatro fios.

Se o sistema de energia é de uma só fase a dois fios, o que é típico de residências e de pequenos prédios, principalmente nos casos de instalações elétricas mais antigas, dificilmente será possível usar aquela fase apenas para o sistema de áudio. O que significa ter que compartilhar.

Quando o prédio possui uma fase a três fios, é possível obter uma certa isolação, ficando um ramo para o sistema de áudio e outra para todos os demais itens elétricos e eletrônicos.

Quando o prédio dispõe de três fases, do ponto de vista de ruídos o melhor é dedicar uma delas ao sistema de áudio. Mas ao mesmo tempo, as três fases também indicam a possível existência presente ou futura de cargas mais pesadas. O que automaticamente deve nos deixar em estado de alerta, e prontos para iniciar imediatamente uma análise mais cuidadosa e detalhada a respeito.

A ideia de reservar uma das três fases só para o sistema técnico apresenta o inconveniente, nem sempre muito aceitável, e por boas razões, de desbalancear muito o sistema trifásico.

13.7.2.5 Relação Custo/Benefício As características do sistema de energia devem ser determinadas em função do particular sistema de áudio a ser energizado.

Se por um lado há muitos sistemas técnicos que simplesmente não podem parar por

problemas de energia, por outro, há também muitos sistemas não críticos, que podem ser paralisados por períodos variáveis.

A fim de que a relação custo/benefício venha a ser a mais vantajosa possível, este aspecto deve ser levado em conta durante quaisquer procedimentos de análise e de avaliação.

13.7.2.6 **Voltagem Nominal e Queda de Voltagem** Este é outro ponto muitas vezes esquecido. Antes de ligar um sistema, alguém faz a medição da voltagem CA e conclui que o valor medido coincide exatamente com o nominal. Que bom né ?! Mas, ... será mesmo?

Como não poderia deixar de ser, essa medalha também tem seus dois lados.

Com o sistema operando, há passagem de corrente pelos condutores do sistema de energia. E é óbvio que haverá uma queda de voltagem ao longo dos mesmos.

O valor da queda de voltagem será tão maior quanto menores forem as bitolas dos condutores, e maiores as intensidades de corrente.

Apenas para que se tenha uma ideia de como aquela voltagem “nominal” pode cair, uma tomada de 110 VCA nominais, ligada por condutores 16 AWG com 30 metros de comprimento, imporá uma queda de voltagem de aproximadamente 10 volts só ao longo do trajeto dos condutores, ao fornecer corrente elétrica de 15 A.

Então, nosso valor, que em condições de ausência de carga havia sido considerado “nominal”, com ela passa a ser apenas cerca de 100 volts.

Desse modo, é sempre prudente examinar distâncias e bitolas dos condutores empregados no sistema de energia, para que não se tenha surpresas posteriormente.

E claro, também podemos fazer medidas de voltagem em condições de carga.

13.8 QUALIDADE DE ENERGIA

13.8.1 Introdução

Energia elétrica pode ser facilmente entendida como sendo a mais essencial de todas as matérias primas, amplamente utilizada em corporações, indústrias, comércio, prestadoras de serviços e mais uma plêiade de aplicações. O que há de comum em todas essas funções é que o consumo se dá num fluxo contínuo e em tempo real, com períodos de mais demanda e outros, de menor demanda.

Eis porque a energia só pode ser armazenada em casos raríssimos. Usualmente é algo como produzir e consumir e jogar fora o saldo, se houver.

Gostaria muito que o caro leitor tivesse em mente que, de modo geral, a energia é usualmente gerada muito longe dos centros de consumo. Então, ela é entregue à matriz energética, na qual há contribuição de diversas outras geradoras.

A viagem da energia até os pontos de consumo envolve centenas ou milhares de quilômetros, como no caso do Brasil, sendo o transporte feito principalmente por linhas aéreas – a céu aberto – depois de passar por muitos transformadores, emendas, pontos de controle, *etc.* Na maioria das vezes a matriz é dividida em partes menores, cada qual pertencente a uma organização ou grupo. O que dificulta consideravelmente que se possa assegurar um padrão homogêneo de qualidade.

A energia disponível em qualquer lugar idealmente seria um sinal de voltagem e frequência incondicionalmente invariáveis, com forma sinusoidal absolutamente pura, isenta de pulsos, ruídos e outras formas de contaminação. Como sugere a figura 13.6.

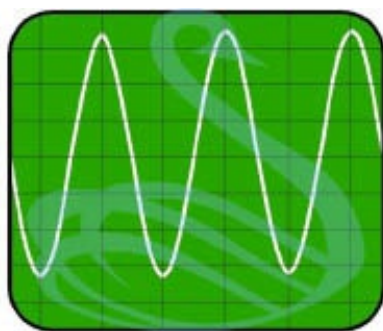


figura 13.6 forma de onda sinusoidal no displêi de um osciloscópio acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Essas características deveriam ser preservadas diante de quaisquer condições de carga.
Infelizmente, no mundo real as coisas não são assim tão perfeitas.

Equipamentos eletrônicos, lâmpadas e outros itens que passam a apresentar comportamento estranho ou sofrer danos acima da expectativa usual é motivo suficiente para despertar suspeitas de que pode estar havendo “estímulos” para tanto. Por exemplo, líquidos que podem estar caindo inadvertidamente sobre aparelhos, saídas curto-circuitadas, falta de espaço para a necessária troca de calor. E tantos outros.

Outrossim, dificilmente se levanta a suspeita de que os danos podem decorrer de distúrbios presentes nas linhas de alimentação. Não devemos estranhar isso. Afinal, estamos falando de fenômenos invisíveis, que não avisam quando vão ocorrer e que não costumam deixar traços ou pistas de sua presença anterior.

O que podemos estranhar é que parte significativa dos profissionais que trabalham com energia elétrica, baixa tensão, acredita que sua tarefa termina com a entrega das tomadas elétricas com voltagem e capacidade de ampères atendendo às especificações ajustadas. Ora, isso é um forte indicador de imperdoável despreocupação para com assunto de tal importância. Ou resulta da falta de conhecimento dos distúrbios próprios das linhas CA e, principalmente, de seus efeitos altamente deletérios. Inclusive para sistemas profissionais de áudio, sejam eles digitais ou analógicos.

É exatamente neste ponto que quero introduzir o termo “**qualidade de energia**”. Seu significado é o do suprimento de energia não contaminada e limpa a ponto de evitar problemas impostos pelos distúrbios, também conhecidos como anomalias. Num extremo, esses transtornos podem assumir a forma de ruídos audíveis que, embora desagradáveis, dificilmente produzem danos aos sistemas. No outro extremo as anomalias podem chegar a provocar falhas tipo avalanche, danificando todos os componentes de um sistema bem engenheirado, mas para o qual faltou cuidado na parte de alimentação a partir do fornecimento de energia.

Entre esses dois limites pode-se constatar falhas de pequena monta, degradações permanentes, desarranjos temporários de funcionamento em dispositivos eletrônicos, aparelhos e sistemas de áudio. Além de outros.

O emprego crescente de equipamentos de áudio com tecnologia digital e os controles digitalizados de muitos deles, inclusive dos mixers de última geração, têm contribuído para que os problemas sejam mais frequentes a cada dia. Com consequências progressivamente mais graves.

O grau crescente de preocupação que se verifica em relação aos distúrbios dos sistemas de energia encontra justificativa em alguns aspectos concretos.

Primeiro, os equipamentos de gerações mais novas têm se mostrado mais vulneráveis do que seus antecessores. Segundo, sistemas de áudio mais vulneráveis são cada vez mais comuns, e terceiro, embora ainda praticamente insipiente, tem aumentado o grau de consciência para a existência de distúrbios nos sistemas de energia.

Estudos recentes respaldam a afirmativa de que os atuais circuitos integrados são muito mais vulneráveis a danos provocados por distúrbios de sistemas de energia do que os circuitos eletrônicos mais antigos, como os valvulados. De fato, o desenvolvimento tecnológico que permite a obtenção de circuitos integrados progressivamente mais rápidos e de maior

densidade, tem sido acompanhado por um incremento significativo no grau de vulnerabilidade das gerações mais recentes de aparelhos.

Pois bem, vamos trabalhar com o postulado de que todo e qualquer sistema de energia está sujeito a distúrbios de todas as formas.

Os distúrbios podem ser produzidos no interior da própria edificação, mas também podem ser trazidos do exterior para dentro da edificação, via cabos e/ou via rádio. Os tipos mais comuns de distúrbios estão relacionados com voltagem e com corrente elétrica, embora também haja distúrbios de frequência.

Temos constatado que, uma vez que o problema e seu tremendo potencial destrutivo são contidos em sua própria dimensão, o próximo passo é sempre a iniciativa de dar início ao combate. Na prática, esse combate é usualmente iniciado de maneira inadequada. Como, por exemplo, indicar um transformador isolador ou recomendar o emprego de um estabilizador de voltagem ou a de um nobreak. Todos esses remédios costumam ser facilmente indicados como cura para males que não se conhece.

O assunto que estamos tratando é semelhante a uma doença. Não se prescreve nenhum remédio sem que se saiba, com certeza, de que doença o paciente sofre. Ou seja, é fundamental que haja um diagnóstico prévio. Então, e só então, é possível indicar a medicação adequada.

O mesmo acontece com as anomalias no fornecimento de energia. Inicialmente é preciso fazer um diagnóstico completo da situação para, então, apontar como o problema será atacado. O tal do combate que mencionei anteriormente.

O caminho que recomendo abrange os seguintes passos: • 1º passo: diagnosticar o problema com a acuidade necessária

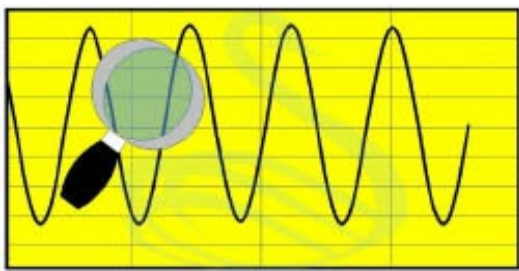


figura 13.7 investigação dos motivos das anomalias no fornecimento de energia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne • 2º passo: prescrever o tratamento mais indicado para o problema, como ele se apresenta • 3º passo: assegurar que o tratamento dado é suficiente para eliminar as causas
Diagnosticar o problema requer conhecer bem todos os tipos de distúrbios e anomalias, além das ferramentas que podem ser usadas para identificá-los.

Prescrever o tratamento exige conhecer os remédios que podem ser usados para cada tipo de anomalia e, acima de tudo, quais são suas limitações.

Para assegurar que o tratamento dado é suficiente, basta voltar ao 1º passo após implantação do tratamento.

13.8.2 Tipos de Distúrbios Os distúrbios mais comuns das linhas CA são: 13.8.2.1 Variações

de Voltagem (Voltage Variation) Termo que descreve o aumento ou a redução do valor nominal da voltagem até o limite de 610%, por um período típico de 150 ciclos. A figura 13.8 dá uma ideia das variações de voltagem.

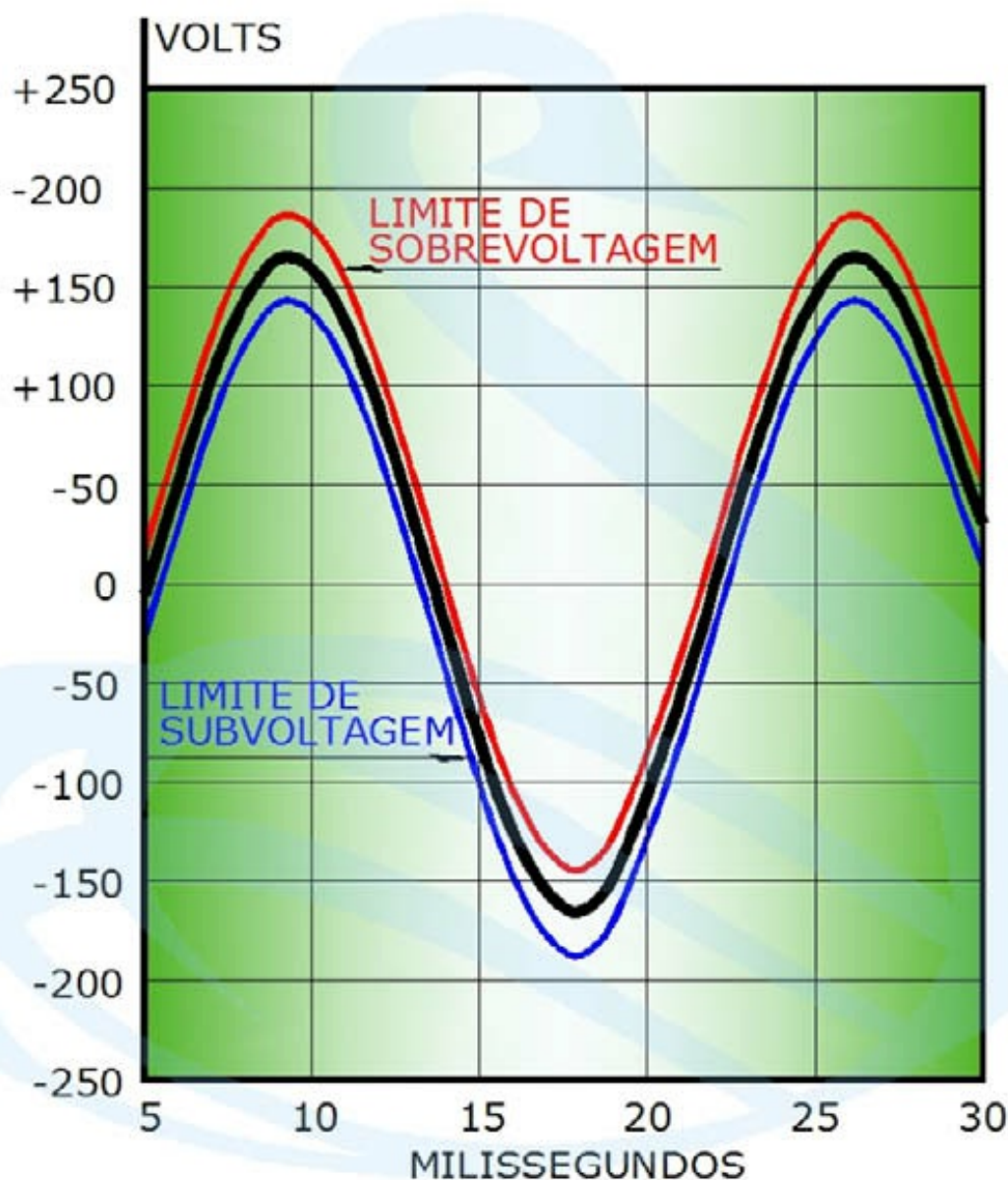


figura 13.8 variações de voltagem em forma gráfica acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 13.8.2.2 Surtos

Elevações muito bruscas de voltagem, que podem atingir dezenas de milhares de volts. Embora esta magnitude seja realmente muito elevada, a duração máxima da anomalia é tecnicamente definida como sendo superior a 3 nanossegundos e inferior a 1 milissegundo.

As causas geradoras mais comuns dos surtos são, nessa ordem, comutações de cargas e raios.

As comutações de carga podem ocorrer na origem, como imposição técnica das concessionárias, ou nas imediações do consumo por quaisquer consumidores. Os raios que incidem nas linhas de fornecimento podem produzir “in loco” voltagens instantâneas de milhões de volts.

Pode-se dizer que há pouco controle sobre os surtos.

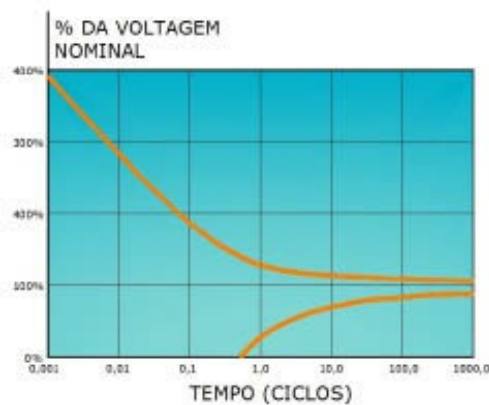


figura 13.8 pacote de tolerâncias magnitude x duração das anomalias acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Tipicamente, quanto mais longa é a duração do fenômeno, menor é sua intensidade.

É o que se pode ver na figura 13.8, onde está representado o pacote de tolerâncias para variações de tensão em função do tempo.

Esse padrão é adotado pela marinha norte-americana especificamente para sua rede de computadores.

13.8.2.3 Picos (Spikes) Os picos são semelhantes aos surtos, sendo que a diferença está na duração do fenômeno.

Enquanto a duração dos surtos varia entre 3 nanossegundos e 1 milissegundo, a duração máxima dos picos é tecnicamente definida como inferior a 3 nanossegundos. Outrossim, a magnitude desta anomalia é usualmente muito elevada.

As causas geradoras mais comuns são semelhantes às que provocam os surtos.

Também aqui há pouco controle sobre a anomalia.

13.8.2.4 Impulsos ou Transientes (Impulses ou Transients) Como o nome sugere, a duração dos impulsos ou transientes é sempre muito curta. São fenômenos com duração típica entre 1 microssegundo e alguns milissegundos.

Essas anomalias apresentam-se nas formas de pulsos positivos ou negativos, e ainda, de oscilações amortecidas, como sugerem as figuras 13.9 e 13.10.

Veja a figura 13.9.

Lá está uma onda sinusoidal representando um sinal de áudio e as anomalias na forma de um notch bastante severo no lado esquerdo da figura, porquanto o lado direito exibe um notch de natureza moderada, o que é mais típico na vida real.

A figura 13.10 ilustra uma forma de impulso transiente muito peculiar, denominada arcos Showering. Uma homenagem a Showers, o cientista que o descobriu.

O fenômeno ocorre quando uma carga indutiva é desligada de uma linha de corrente alternada.

Coisa semelhante ocorre com a ligação da mesma carga na linha.

O registro deste fenômeno foi feito com osciloscópio digital.

No eixo de tempo da figura, $t=0$ é o momento em que a carga é desligada. Observa-se que até cerca de 8 microssegundos não há qualquer registro digno de nota. Esses 8 microssegundos iniciais correspondem ao tempo de atuação do interruptor. A partir daí, e até aproximadamente 90 microssegundos, os arcos Showering se mostram evidentes.

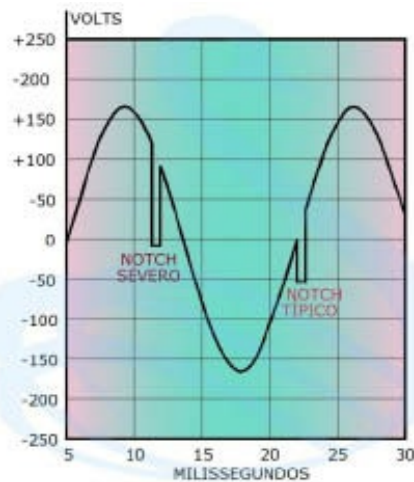


figura 13.9 impulso transiente do tipo notch (severo e moderado) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

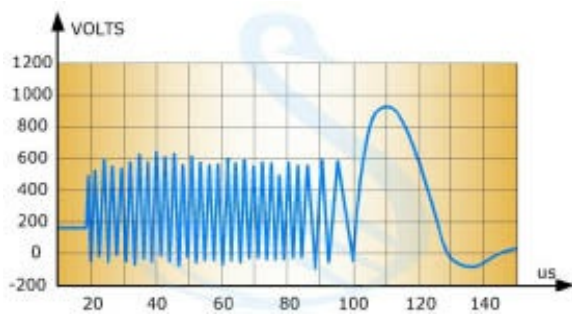


figura 13.10 resultado gráfico do desligamento de carga indutiva de uma linha de 110 volts CA acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Atingidos os 90 ms, há um pico de voltagem que se aproxima de 1.000 volts. Esse pico final pode atingir magnitudes de voltagem de alguns milhares de volts, dependendo apenas dos valores dos componentes reais da carga.

A ocorrência dos arcos pode ser explicada através da seguinte sequência de eventos:

- quando o interruptor é aberto a corrente elétrica no componente indutivo diminui rapidamente, reduzindo também o campo magnético
- a corrente elétrica que deixa o componente indutivo passa a percorrer o componente capacitivo, de modo que a voltagem sobre a carga aumenta
- esse aumento de voltagem sobre a carga é limitado por uma centelha que se forma no ar entre os contatos do interruptor, o que se deve à quebra do dielétrico do meio
- com a centelha forma-se um arco elétrico altamente condutivo entre os contatos do interruptor, o que restabelece a corrente para o componente indutivo
- com o restabelecimento da corrente para o componente indutivo a voltagem sobre ele começa a cair
- imediatamente antes da corrente atingir seu valor nulo, o arco deixa de existir, o que provoca a redução do campo magnético no componente indutivo

Exceto pelo primeiro evento, todos os demais se repetem várias vezes. Aliás, como sugere a figura 6.

Isso se prolonga até que a distância entre os contatos do interruptor se torna

suficientemente grande para não possibilitar mais a quebra do dielétrico. Nesse momento, os componentes que formam um circuito tipicamente LCR, iniciam uma oscilação suave e amortecida. Ao que corresponde o pico da figura, que no caso ocorreu em $t=100$ ms.

Impulsos ou transientes são causas corriqueiras de IEM (Interferência EletroMagnética) em sistemas técnicos. Entretanto, o potencial destrutivo dessas anomalias, e mesmo seus efeitos de provocar IEM, dependem bastante de sua duração e magnitude. Esta pode ser da ordem de uma pequena fração do valor RMS nominal de voltagem, mas também pode chegar à casa de muitos milhares de volts.

13.8.2.5 Distensão (Swell) A distensão é semelhante ao surto, sendo que a diferença principal está na duração do fenômeno.

Enquanto a duração dos surtos varia entre 3 nanossegundos e 1 milissegundo, a duração mínima da distensão é tecnicamente definida como superior a alguns milissegundos. A magnitude desta anomalia não costuma ser muito elevada.

As causas geradoras mais comuns são semelhantes às que provocam os surtos.

Mais uma vez, também aqui há pouco controle sobre a anomalia.

13.8.2.6 Picote (Sag/EUA, Dip/Inglaterra e Brownout/Internacional)

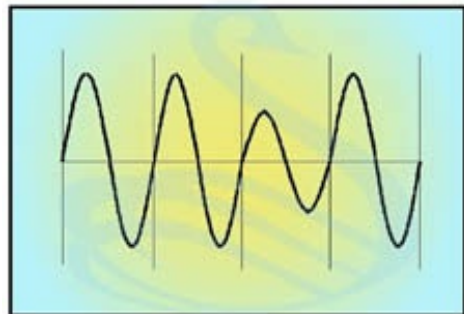


figura 13.11 picote (sag/EUA, dip/Inglaterra e brownout/internacional) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Os picotes são reduções que ultrapassam 10% do valor RMS nominal da voltagem, com duração entre metade de um ciclo completo CA (8,3 milissegundos para fornecimento em 60 Hz) e 2,5 segundos.

As causas mais corriqueiras dos picotes são a ligação de cargas que exigem elevadas correntes de partida (in rush), como grandes motores, fornos elétricos industriais e outros. Assim, algo comum quando da volta da energia após interrupções de fornecimento.

13.8.2.7 Queda (Blackout) Anomalia caracterizada pela redução do valor RMS da voltagem para zero, com duração de aproximadamente 1 ciclo completo CA (16,7 milissegundos para fornecimentos em 60 Hz). Como na figura 13.12.

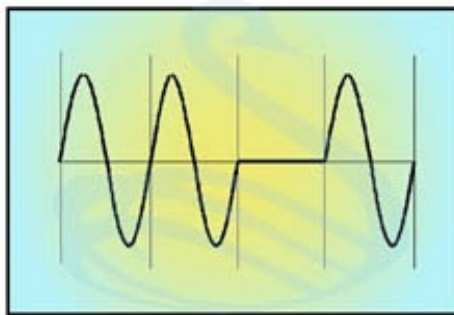


figura 13.12 queda (blackout) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 13.8.2.8 Queda Transitória (Dropout) Anomalia semelhante à queda, porém, com duração típica de poucos milissegundos, o que equivale a uma pequena porção de um ciclo completo.

A figura 13.13 ilustra a ideia.

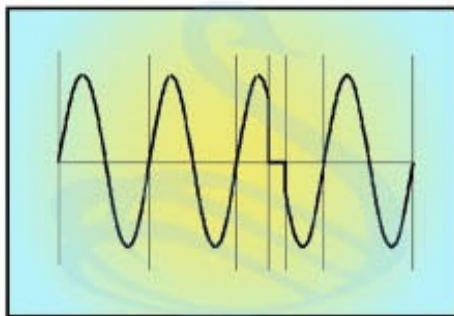


figura 13.13 queda transitória (dropout) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 13.8.2.9 Interrupção de Fornecimento (Outage) O mais comum dos mortais já sofreu os efeitos da Interrupção de Fornecimento de energia.

Pergunte a um deles e a resposta será: é um saco. Ficamos praticamente sem poder fazer nada. Claro que essas pessoas se referem a interrupções tipo apagão, de longa duração.

Mas você que trabalha com computador sabe que uma interrupção de muita curta duração é o suficiente para jogar no lixo um arquivo que estava sendo trabalhado há horas. Tudo perdido.

Tecnicamente, a Interrupção de Fornecimento é uma anomalia muito semelhante à queda. Entretanto, agora com qualquer duração que exceda a um ciclo completo CA (16,7 milissegundos para fornecimentos em 60 Hz).

Portanto, não se deve confundir Interrupção de Fornecimento com a falta de energia por períodos prolongados, que pode ocorrer por falhas em sistemas de comutação e/ou de transmissão.

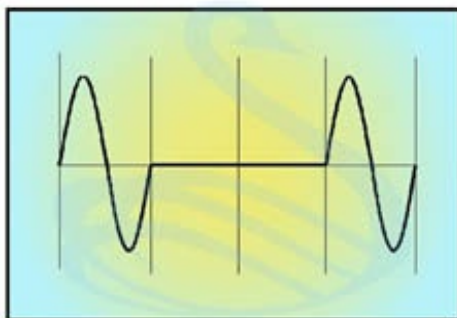


figura 13.14 interrupção de fornecimento (outage) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 13.8.2.10 Flicker

Efeito produzido em sistemas de iluminação quando o valor RMS da voltagem varia de forma aleatória ou repetitiva entre 90% e 110%.

A comunidade científica já vem debatendo há anos com o objetivo de chegar a uma posição de consenso sobre o nome a ser dado a este fenômeno, já que “flicker” é o nome associado ao sintoma e não à causa.

13.8.2.11 Subvoltagem Redução do valor nominal da voltagem até o limite de 10%, por um período típico de 150 ciclos.

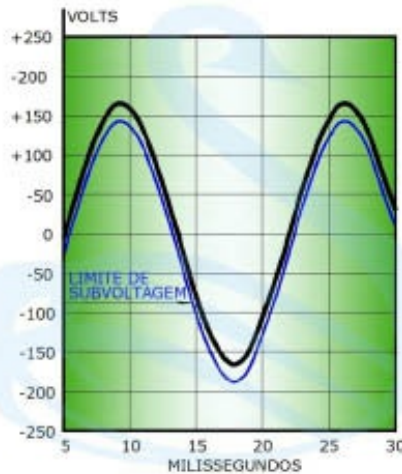


figura 13.15 limites da subvoltagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 13.8.2.12 Sobrevoltagem (Overvoltage) Aumento do valor nominal da voltagem até o limite de 10%, por um período típico de 150 ciclos.

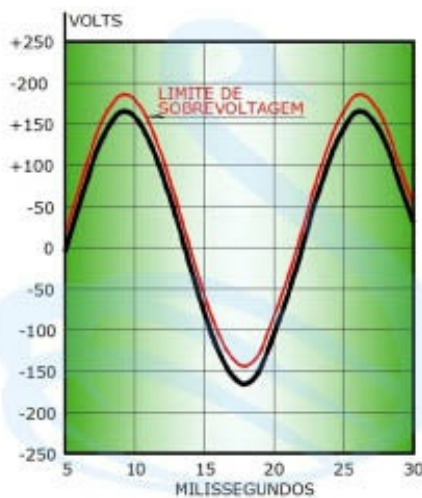


figura 13.16 limites da sobrevoltagem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 13.8.2.13 Variação de Frequência (Frequency Drift) Quaisquer variações em relação à frequência nominal da rede, 60 Hz no caso do Brasil.

13.8.2.14 Ruído de Radiofrequência (Radiofrequency Noise) Os ruídos de radiofrequência (RF) correspondem a ondas de rádio produzidas por estações de rádio e de TV, microondas, celulares, motores elétricos e mecânicos, geradores, rádio amador e tantos outros, que são captadas pelos cabos de energia expostos por meios diretos, por acoplamento indutivo, por acoplamento capacitivo, ou introduzidos na rede de energia por quaisquer aparelhos elétricos ou eletrônicos, inclusive lâmpadas.

Na maioria das vezes a fonte ofensora está muito distante do local afetado. Os computadores são as vítimas prediletas dessa anomalia. Mas as piores consequências são para

os sistemas profissionais de áudio que, alimentados por energia portadora de ruídos de radiofrequência, acabam contaminados pelo mal, com consequências um tanto ou quanto imprevisíveis. Na maioria das vezes essas contaminações não chegam a provocar danos temporários nem permanentes aos equipamentos. Entretanto, os ruídos são geralmente audíveis. Os padrões de interferência podem ser ouvidos em sistemas de áudio como cliques, pops, vozes e/ou música de fundo. Em sistemas de vídeo, o sintoma mais comum é o “chuvisco”.

Sobre as lâmpadas, vale comentar que uma boa parte da energia entregue às lâmpadas fluorescentes é rejeitada pelos respectivos reatores. Esse “dejeto” elétrico é reencaminhado de volta para o sistema de energia, usualmente na forma de correntes reativas e/ou harmônicas. O efeito é tão mais intenso quanto pior é a qualidade do reator utilizado e quanto mais baixo é seu fator de potência.

Bem, isso é pura distorção. E muita. Quer ver?

No início da década de 70, um prédio de escritórios com mais de 40 andares, em Los Angeles, pegou fogo e praticamente se transformou numa tocha gigantesca. O laudo técnico apontou o motivo do acidente.

Os componentes reativos e harmônicos produzidos pelas lâmpadas fluorescentes, muito elevados, criaram correntes de altas frequências de tal magnitude que sobrecarregaram e literalmente derreteram a fiação elétrica do edifício. Eis a causa do incêndio.

Outro exemplo, também em Los Angeles, na esquina de Wilshire com Hope. Desta vez o incêndio ocorreu no prédio do First Interstate Bank em maio de 1988. Motivo do desastre: as mesmas correntes indesejáveis produzidas por lâmpadas fluorescentes. Este foi o laudo oficial elaborado após detalhadas análises de todas as circunstâncias.

Este caso tornou-se muito conhecido porque o acidente virou filme. Hollywood se saiu com o sugestivo e mercadológico título “O Inferno na Torre”.

A partir desses tristes episódios, e de alguns outros de proporções semelhantes, os códigos de segurança do mundo foram adaptados para prevenir riscos de incêndio levando em conta esses novos desafios.

Fora isso, de lá para cá, pouco foi feito a respeito desse tipo de problema.

13.8.2.15 Harmônicas (Harmonics) Anomalia tipo ruído de radiofrequência, produzido na rede por reatores de lâmpadas fluorescentes que rejeitam parte da energia que as alimenta. Essa rejeição circula pela rede elétrica com frequências sempre muito elevadas. Daí o nome da anomalia.

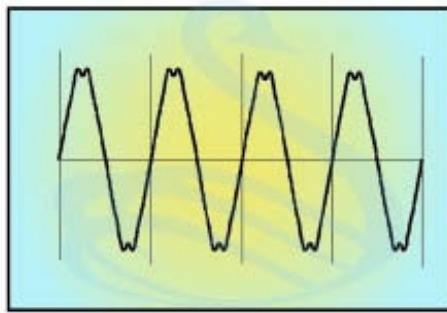


figura 13.17 harmônicas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 13.8.2.16 Distorções (Distortions)
Variações produzidas na forma de onda do fornecimento que podem ter, literalmente falando, centenas de fatos geradores. Usualmente são contaminações de espectro amplo, por isso mesmo também denominada “sujeira”.

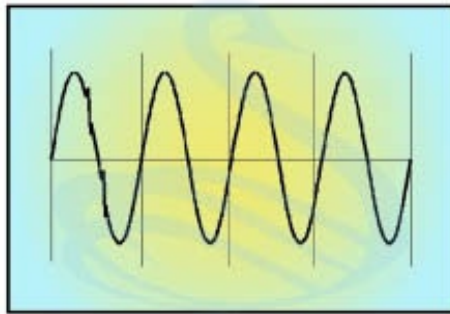


figura 13.18 distorções acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 13.8.2.16 Ruídos (Noise) Tecnicamente ruídos são quaisquer formas de anomalias que produzam efeito audível nos sistemas profissionais de áudio alimentados por essa energia. Na prática, o termo ruído no fornecimento tem, além desse significado particular, o sentido de distorções, de harmônicas e de várias outras formas de contaminação.

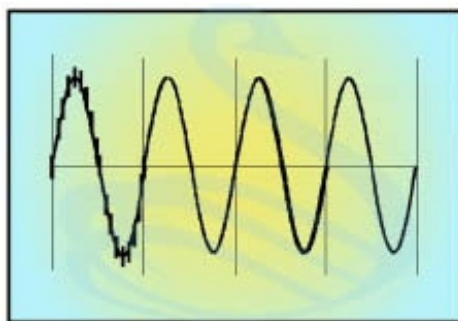


figura 13.19 ruídos
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne 13.8.2.17 Impedância de Baixa Frequência Não Nula (No Zero Low Frequency Impedance) Ocorre quando a queda de voltagem é uma função de grande demanda de corrente pela carga
13.8.2.18 Impedância de Alta Frequência Não Nula (No Zero High Frequency Impedance) Ocorre quando a queda de voltagem é uma função das indutâncias da linha, as quais se manifestam quando uma carga que vinha consumindo corrente elétrica muito elevada é repentinamente desligada
13.8.2.19 Contaminação de Terra A contaminação de terra é qualquer forma de anomalia entre todas as discutidas até este ponto, mas que tenha tido acesso ao sistema elétrico através do aterramento.

Até certo ponto pode ser controlada dependendo de como o sistema de aterramento é desenhado.

Eis porque é muito importante que todo o sistema de suprimento energético para sistemas profissionais de áudio seja absolutamente técnico, especialmente o aterramento, e sempre objeto de projeto específico.

13.8.3 Um Pouco Mais Sobre os Distúrbios Além de toda a classificação que discutimos até aqui, há alguns outros aspectos que precisamos saber sobre os distúrbios.

Vamos a eles.

13.8.3.1 Carga Não Linear



figura 13.20 exemplo de carga não linear acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma carga é chamada de não linear quando sua voltagem de saída não é previsível partindo-se do comportamento da voltagem de entrada, para todos os níveis de sinais.

13.8.3.2 Transiente/Oscilatório/Amortecido A ideia de transiente é a de ocorrência do fenômeno durante um período muito curto, após o qual a tendência é a normalização do fornecimento.

Os casos extremos de transientes são denominados EFT, acrônimo para Extremely Fast Transient.

O sentido do termo oscilatório está associado ao fenômeno repetitivo ao longo do tempo.

Amortecido é o fenômeno que inicia com uma certa magnitude, assim se mantém por um certo tempo, após o qual a magnitude vai caindo progressivamente até que o fenômeno acabe por completo.

13.8.3.3 Simples ou Combinado As anomalias dos sistemas de energia podem ocorrer em sua forma mais simples, isto é, individualmente, como discutido anteriormente. Mas também é muito comum a existência de distúrbios em combinações, como por exemplo a combinação de sobrevoltagem com ruídos de radiofrequência.

13.8.3.4 Modo Comum e Modo Diferencial Podemos utilizar um osciloscópio de duplo traço para ver a forma de onda dos distúrbios. Isso nos permite monitorar simultaneamente as formas de onda nos condutores fase e neutro, ambos medidos contra terra.

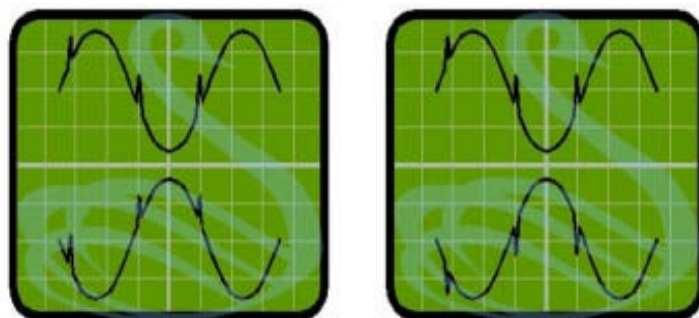


figura 13.21 interferência de modo comum à esquerda e de modo diferencial à direita acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No lado esquerdo da figura os ruídos são de modo comum. Note bem que as

pequenas alterações da forma de onda têm polaridades iguais. No lado direito da figura ocorre o inverso. As pequenas alterações da forma de onda têm polaridades opostas. Então, esses são os ruídos de modo diferencial.

Veremos que conhecer essa característica da anomalia é de vital importância para elaborar um diagnóstico preciso.

O efeito de raios sobre os cabos de energia, aberturas e fechamentos de disjuntores na concessionária, e captação de ruídos elétricos pelos cabos, inclusive de RF, provocam transientes de modo comum.

Os surtos tendem a ser ruídos de modo diferencial porque a ligação elétrica existente entre neutro e terra faz com que qualquer ruído externo de modo comum se transforme em modo diferencial.

13.8.3.5 Frequência

A maioria dos impulsos transientes, dos notches e dos ruídos de radiofrequência são caracterizados por uma dada frequência. Uma das classificações geralmente aceitas pela maioria dos consultores internacionais é a que segue:

distorções harmônicas	CC a 9 kHz
interferências conduzidas	9 kHz a 30 MHz
Interferências de radiofrequência	30 MHz a 1 GHz

13.8.4 O Potencial Destrutivo dos Distúrbios 13.8.4.1 Variações de Voltagem As variações de voltagem provocam patamares de trabalho que se afastam dos valores nominais de referência, com fortes chances de provocar colapso nos equipamentos, especialmente nas fontes internas de alimentação.

A probabilidade é tão maior quanto mais intenso e longo é o distúrbio.

13.8.4.2 Surtos (Surges) e Picos (Spikes) Os surtos e os picos costumam atingir diretamente as junções dos semicondutores, provocando falhas instantâneas.

Esse mecanismo é tão perverso que um simples e único surto ou pico pode arruinar centenas de milhares de R\$ em equipamentos. Torna-se cada vez mais comum a necessidade imediata de assistência técnica “in loco” em horário comercial e fora dele. Há grandes chances de que as consequências dos surtos e dos picos sejam confundidas com falta de qualidade dos serviços de instalação e/ou de manutenção.

Muitos surtos e picos podem ultrapassar os componentes reguladores de voltagem das fontes de alimentação e terminar nos barramentos de energia dos aparelhos. Quando isso

ocorre as chances são de que todos os semicondutores do aparelho afetado sejam imediatamente danificados.

Assim, embora não se possa prever nem prever ocorrências de surtos e de picos numa instalação, podemos prevenir. É o que recomendo.

Tipicamente, quanto mais longa é a duração do fenômeno, menor é sua intensidade. Como sugere a figura que exhibe o pacote de tolerâncias para variações de voltagem em função do tempo, utilizada pela marinha norte-americana e por muitas organizações públicas e privadas.

Os surtos são de menor intensidade que os picos, mas de duração consideravelmente mais longa. Isso significa que as possibilidades da corrente elétrica produzida por um surto aquecer e derreter junções de semicondutores são semelhantes às das correntes produzidas pelos picos.

Geralmente, o primeiro semicondutor atingido é o que é destruído. Na maioria das vezes esse semicondutor é parte da fonte de alimentação. Como a destruição é bem mais rápida do que a reação dos fusíveis e protetores das linhas de energia, a destruição tende a ocorrer em cascata através de toda a circuitação dos componentes de áudio e de vídeo, muitas vezes lesando todos os componentes de todos os estágios.

13.8.4.3 Impulsos ou Transientes (Impulses ou transients) O potencial destrutivo dos impulsos e dos transientes é aproximadamente o mesmo que o dos surtos e dos picos. Eventualmente, os impulsos e/ou transientes de grande intensidade podem apresentar riscos de danos consideráveis.

Isto porque há registros de impulsos e transientes que já paralisaram o processo da troca térmica dos componentes eletrônicos, com chances de danificar transistores, reguladores e demais componentes projetados para trabalhar com ventilação permanente.

13.8.4.4 Distensão (Swell) O potencial destrutivo das distensões é maior do que se imagina. Com efeito, muitos dos aparelhos eletrônicos modernos se valem de ventoinhas para sua refrigeração interna. E as distensões podem prejudicar bastante o arrefecimento térmico dos componentes, com amplas chances de produzir danos nos próprios.

13.8.4.5 Picotes

Imediatamente após o picote, quando do retorno da energia, podem ocorrer fenômenos oscilatórios e/ou amortecidos, como sugere a figura 5. Neste caso, a parte final do fenômeno pode lesar semicondutores e outros componentes eletrônicos.

13.8.4.6 Quedas (Blackout) O potencial destrutivo das quedas é apenas moderado.

13.8.4.7 Queda Transitória (Dropout) Potencial destrutivo semelhante ao das quedas.

13.8.4.8 Interrupções de Fornecimento (Outages) As interrupções de fornecimento provocam efeitos bem mais agressivos que os dos picotes. Se não forem tomadas medidas protetivas adequadas, a volta da energia pode apresentar potencial destrutivo verdadeiramente devastador.

13.8.4.9 Flicker

Potencial destrutivo praticamente inexistente.

13.8.4.10 Subvoltagem e Sobrevoltagem Ver variações de voltagem, acima.

13.8.4.11 Variações de Frequência Potencial destrutivo praticamente inexistente.

13.8.4.12 Ruído de Radiofrequência O potencial destrutivo dos ruídos de radiofrequência pode ser melhor avaliado em toda sua extensão através da leitura do tópico correspondente a esta anomalia.

13.8.4.13 Harmônicas

Como relatei o caso do filme “Inferno na Torre” e que teve como fato gerador as harmônicas geradas nas linhas de energia da edificação, nem preciso alongar muito para enfatizar o potencial destrutivo desta anomalia, que é absolutamente perigoso.

13.8.4.14 Distorções

Potencial de perigo reduzido, mas com efeitos sônicos muito desagradáveis.

13.8.4.15 Ruídos

Potencial de perigo semelhante ao das distorções.

13.8.4.16 Contaminação de Terra Os efeitos audíveis resultantes dessa anomalia pode chegar às raias do insuportável. Sua simples existência evidencia problemas no aterramento técnico o que, por si só, já suscita cuidados específicos e investigações cabíveis.

13.8.5 Diagnóstico

Quem pretende cuidar do sistema de alimentação deve estar preparado para examinar detalhadamente as possíveis anomalias que o acometem.

Nesse sentido, estar preparado significa conhecer todos os problemas potenciais, saber

como eles se manifestam, analisar todas as circunstâncias que podem contribuir para que eles persistam, dispor de equipamentos que auxiliem nas análises, saber interpretar resultados e ainda, ter sorte.

Sem contar a experiência, que ajuda muito. Mas preciso lembrar aos menos experientes que os mais reputados profissionais do mundo também já foram totalmente inexperientes.

13.8.5.1 Quando o Diagnóstico é Importante Muitos autores prescrevem que a análise das condições de suprimento pelo sistema de energia deve ser feita quando um sistema de áudio continua apresentando problemas de ruídos, mesmo após terem sido feitas verificações e conferências de itens básicos, como estabilidade da voltagem fornecida, técnicas de aterramento, blindagens utilizadas, técnicas de interligação entre aparelhos, *etc.*

Penso diferente. E como eu, muitos outros. Sou de opinião que devemos conhecer essas condições muito antes de dar início à instalação do sistema. Seja ele permanente ou temporário. Idealmente, os dados necessários são levantados e analisados por ocasião do projeto do sistema. Não parece mais lógico?

13.8.5.2 Análise das Circunstâncias Acessórias Creio que a análise deve começar por aqui. Reunindo e avaliando o conjunto das circunstâncias acessórias disponíveis.

Os perigos e consequências dos raios sobre os sistemas de energia dependem parcialmente das atividades atmosféricas na área geográfica considerada, das chances dos cabos de energia serem atingidos pelos raios, da quantidade de usuários que desfruta simultaneamente do sistema de energia e das localizações em relação ao ponto em que o raio atinge um ou mais cabos.

Se a atividade atmosférica numa determinada região não puder ser facilmente avaliada, a concessionária provavelmente disporá de dados mais relevantes a respeito. Naturalmente, quanto maior é a atividade elétrica da atmosfera, maiores são os riscos.

As chances dos cabos serem atingidos dependem das características físicas da instalação de distribuição. Ou seja, cabos subterrâneos ou instalados a poucos metros do solo, se rodeados por prédios altos, protegidos por para-raios, também estarão relativamente bem protegidos. Ao contrário, cabos correndo solitariamente e muito expostos apresentam enormes riscos de ser atingidos por raios.

Quando um raio atinge um cabo de energia, todos os usuários atendidos por ele sentirão e absorverão os efeitos resultantes. Daí a importância da quantidade de usuários do sistema. Pela mesma razão, é muito importante sabermos aproximadamente quantos usuários existem entre os prováveis pontos de exposição e o ponto que estamos considerando.

Um exemplo. Um sistema de sonorização instalado num estabelecimento industrial afastado, como uma madeireira plantada no meio de uma floresta, provavelmente terá seus cabos de energia atingidos por raios de vez em quando, a menos que estes estejam protegidos por montanhas ou outros acidentes geográficos.

Os raios poderão atingir os cabos em locais próximos ou longe do estabelecimento.

Se não houver cargas intermediárias entre o estabelecimento e o ponto onde o cabo foi atingido, a anomalia resultante terá que ser inteiramente absorvida pelo transformador de entrada do estabelecimento, e equipamentos associados, inclusive condicionadores de linha, quando for o caso.

Ao contrário, sistemas de sonorização instalados em grandes centros urbanos, provavelmente são alimentados por cabos de energia relativamente bem protegidos por distâncias consideráveis, porquanto a energia será tipicamente compartilhada com grande quantidade de usuários.

Numa situação como esta, os eventuais distúrbios são bastante atenuados pelo conjunto de todos os usuários.

Além dessas circunstâncias acessórias, que devem fazer parte da análise, é recomendável incluir outras, igualmente responsáveis por distúrbios com potencial destrutivo.

Como os impulsos transientes também são provocados por cargas muito pesadas, que são ligadas ou desligadas da rede, é apenas uma questão de se verificar esta condição com algum cuidado e paciência na vizinhança.

Um sistema de sonorização instalado no centro de uma região bastante industrializada estará sujeito a maiores riscos dessa natureza. O mesmo acontecendo com sistemas instalados nas proximidades de subestações.

Muitas vezes, os sistemas de sonorização são afetados por linhas de alimentação com distúrbios sem potencial destrutivo, mas de consequências audíveis. Isso ocorre tipicamente nas grandes cidades, como boa parte das capitais brasileiras.

Nestas, é comum a instalação de sistemas de sonorização em propriedades muito grandes, como complexos industriais e centros comerciais metropolitanos modernos. Boa parte desses locais possui recursos de alimentação de energia. Nesses casos, o grau de ofensa depende de como a alimentação é distribuída pelo interior da propriedade e do local onde é instalado o sistema de sonorização em relação às cargas.

Quanto mais elevada é a capacidade de suprimento de energia de um circuito, maior é, também, sua capacidade de absorver ruídos elétricos e, conseqüentemente, de não refleti-los para outros circuitos. Especialmente se cada circuito for alimentado por um transformador.

Essa maneira de analisar possíveis ruídos em grandes instalações também é aplicável a

casos menores.

Sempre que uma linha de alimentação utilizada por um sistema de sonorização for compartilhada com uma carga ruidosa, a possibilidade de condução de ruído existe.

Pode-se concluir que a alimentação mais limpa possível numa instalação qualquer é aquela diretamente proveniente da maior capacidade de suprimento disponível.

Usualmente esta maior capacidade de suprimento é a entrada de energia do prédio, e não derivações secundárias, terciárias, *etc.*

13.8.6 Instrumentos Aplicáveis **13.8.6.1 Monitores de Linha** Monitores de linha são instrumentos altamente especializados, especialmente projetados para informar com detalhes quais e quantos distúrbios ocorreram na rede de energia monitorada durante um certo período. Eles são diretamente ligados na rede de energia a ser investigada, e devem operar por períodos que variam de 72 horas a 480 horas.

Durante o período de monitoração o aparelho detecta e registra cada distúrbio ocorrido, além de aferir a intensidade e a duração de cada um deles. Isso possibilita que todas as anomalias registradas possam ser classificadas por tipo. Além disso, cada tipo pode ser ainda dividido em várias categorias, cada qual associada a uma determinada faixa de duração.

A maior inconveniência de se empregar monitores de linha é que além dos próprios aparelhos serem consideravelmente caros, todo o procedimento de ligá-los e desligá-los, sua disponibilização e interpretação posterior dos dados também é bastante onerosa.

A figura 13.22 mostra um monitor de qualidade de suprimento de energia



figura 13.22 aparelho para aferir qualidade do fornecimento de energia acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne **13.8.6.2 Osciloscópios** Uma das ferramentas disponíveis e mais úteis ainda é o velho e surrado osciloscópio.

Em condições normais de uso, os osciloscópios são empregados para mostrar de maneira estável formas de ondas de fenômenos repetitivos, dos quais os exemplos mais óbvios são os sinais sinusoidais e as formas das ondas quadradas e as retangulares. Dessa maneira, este é o instrumento ideal para identificar distúrbios contínuos que produzam ruídos audíveis.

Quando pretendemos usar um osciloscópio para estudar formas de onda correspondentes a fenômenos intermitentes, ou a fenômenos que se repetem a intervalos relativamente longos, é preciso que o instrumento possua alguma forma de retenção de informação.

Há três maneiras de se dotar um osciloscópio com esse recurso: usar uma câmara fotográfica em conjunto com o instrumento analógico, construir o osciloscópio analógico com tubo de raios catódicos provido de persistência variável, e finalmente, empregar um

osciloscópio digital, ou DSO para Digital Storage Oscilloscope.

Cada uma dessas maneiras apresenta seus prós e contras.

Nos osciloscópios analógicos há sempre uma limitação, imposta pela máxima velocidade que o feixe de elétrons pode “escrever” no fósforo do tubo, e ainda produzir um traço visível. Tal limitação é uma barreira para a utilização dos osciloscópios analógicos para o acompanhamento de fenômenos tão rápidos como estes dos quais estamos falando.

Os osciloscópios analógicos dotados do recurso persistência variável possuem a mesma limitação. O que os impossibilita de escrever sequer uma divisão de grátícula em cada nanossegundo. Mas há um recurso antídoto, denominado “varredura reduzida”. Com ele, as velocidades limite melhoram substancialmente. Porém, às custas de uma significativa redução no tamanho da tela, geralmente para 45 mm horizontais por 36 mm verticais. O que, por sua vez, diminui de forma correspondente a visibilidade da imagem apresentada.

Por esses motivos, não vejo nos osciloscópios analógicos uma boa alternativa para medições de fenômenos transientes muito rápidos e distúrbios assemelhados.

Os DSO não possuem essa limitação de escrita, uma vez que as informações não são retidas no fósforo da tela, mas em memórias semicondutoras.

Por outro lado, todo e qualquer osciloscópio digital também apresenta limitações. Sua velocidade máxima é uma combinação da banda passante de seus amplificadores com a taxa de amostragem utilizada pelos conversores AD.

Muitos fabricantes de DSO especificam as bandas passantes para seus produtos, assumindo que os sinais que serão analisados possuem caráter essencialmente repetitivo. O que, em muitos casos, como o dos transientes, não é necessariamente verdadeiro. Exemplos de utilização dessa técnica são dados pelos instrumentos 7S12 e 1S1, ambos da conceituada Tektronix.

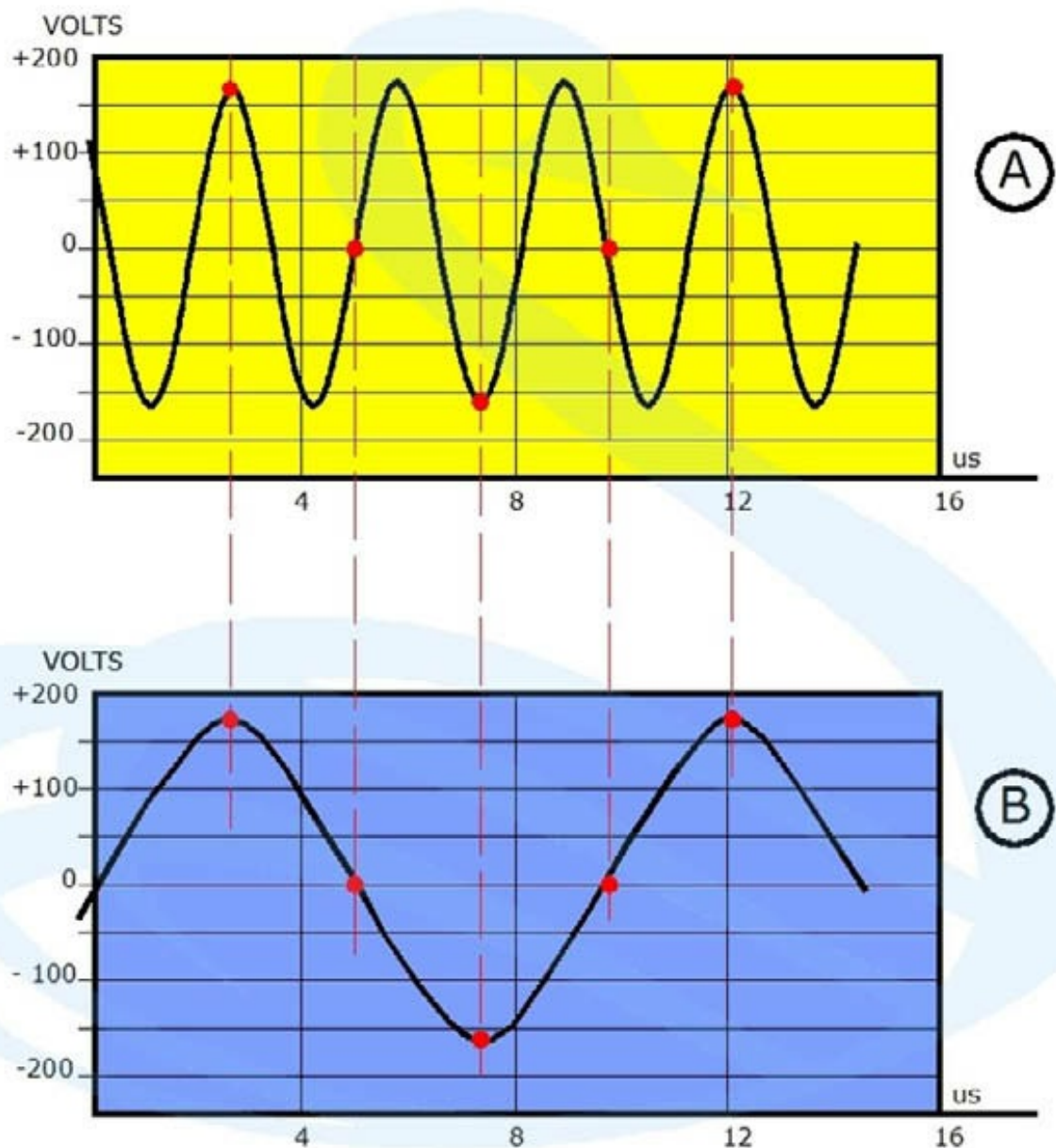


figura 13.23 ilustração de erro de aliasing embutido na medição de um osciloscópio digital. A figura A representa o sinal de entrada e seus pontos de amostragem, porquanto a figura B representa o sinal como medido pelo instrumento. O erro de medida (aliasing) é introduzido em consequência da subamostragem acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Pelo teorema de Nyquist, se o sinal for sinusoidal, é possível medi-lo com uma taxa de amostragem duas vezes superior à sua frequência.

Se a taxa for inferior a isso, a curva apresentada poderá ser totalmente diferente da realidade. O fenômeno, denominado erro de aliasing, é ilustrado na figura 13.23.

Portanto, uma das coisas mais importantes que o profissional de áudio deve fazer antes de utilizar um osciloscópio digital é ter certeza de que sua capacidade de amostragem é suficiente para o trabalho a ser feito.

Usualmente é especificada uma taxa de amostragem 10 vezes superior à maior frequência que se espera observar.

Adicionalmente, os DSO possibilitam o registro permanente das informações em discos e fitas, e a capacidade de comunicação com computadores e impressoras.

Com relação à resolução, os DSO são muito superiores aos osciloscópios analógicos.

Para identificar as presenças simultâneas de ruídos de modo comum e de modo diferencial,

é preciso dispor de alguns osciloscópios. Mas os dois modos também podem ser avaliados separadamente.

Para ligar as pontas de prova de um osciloscópio aos condutores fase e neutro da linha de alimentação, é obrigatório usar um instrumento com entradas diferenciais. Entradas não diferenciais não podem ser usadas porque elas podem produzir com facilidade o curto-circuito de fase para terra, provocando danos permanentes nos equipamentos, envolvendo ainda diversos riscos desnecessários, inclusive o de vida. A falta de cuidados com esse aspecto específico costuma produzir explosões na ponta de prova e queima da circuitação interna do instrumento.

Caso o osciloscópio não tenha entradas diferenciais é preciso proteger as medições com um desacoplador.

Alternativamente, é possível – e muito mais seguro – empregar um osciloscópio portátil energizado a bateria, como os modelos 95 e 97 da Fluke, ou um transformador isolador para fazer flutuar o terra do instrumento, tirando-lhe a referência de terra.

Como há perigos potenciais com a utilização desta última técnica, só é recomendável que ela seja utilizada por engenheiros e técnicos muito experientes no uso de instrumentação eletrônica e de osciloscópios especificamente.

Quando se lida com voltagens elevadas, é relativamente difícil dispor de uma boa referência de terra.

Por essa razão, é sempre vantajoso medir diferenças de voltagens entre dois pontos com o emprego de um amplificador diferencial autêntico, como o exemplificado na figura 13.24.

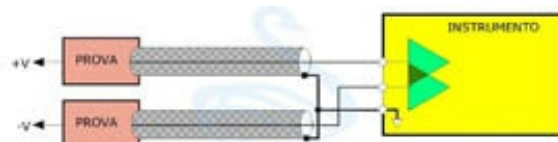


figura 13.24 forma especial de blindagem para osciloscópio com entradas diferenciais acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Existem matérias publicadas sobre interessantes montagens de pontas de prova especiais. Este é o caso do artigo de Walter Dorfman, publicado na revista Radio Electronics, edição de outubro de 1992.

O autor mostra resumida e claramente como montar uma ponta de prova diferencial.

Nas medições com osciloscópios, a radiação de campos eletromagnéticos pode induzir facilmente voltagens em elos fechados.

Evitar o uso dos terminais terra nas pontas de prova dos osciloscópios analógicos ou DSO, e ligar as blindagens apenas na carcaça do instrumento, como mostra a figura 20, é uma das técnicas que ajuda a eliminar erros de medida.

É verdade que a maior parte dos osciloscópios de duplo traço oferece recursos de entrada diferencial. Porém, numa boa parte dos casos o recurso é apenas uma entrada “pseudo diferencial”. O truque é simples. Usa-se o modo A+B, com o canal B invertido. Do que resulta

o modo A-B. Isso funciona bem em baixas frequências. Mas em altas, a RRMC da entrada é terrivelmente degradada. E as medições podem levar a enganos desastrosos.

Como esta, há outras técnicas seguras de se fazer medições diferenciais.

Mas o assunto é bastante extenso por si, e pode ser facilmente encontrado em literaturas avulsas e nos próprios catálogos não resumidos dos fabricantes. Todas elas exigem compensações nas pontas de prova.

A seguir, a relação de alguns dos fornecedores de pontas de prova: • Avex Probes Inc., telefone 001.215.6383300 - USA • Hewlett-Packard, telefone 001.800.4524848 - USA • ITT Pomona, telefone 001.714.4692900 - USA • Jensen Tools Inc., telefone 001.602.9686231 - USA • Probe Master Inc., telefone 001.800.7721519 - USA • Tektronix, telefone 001.503.6277111 - USA • Test Probes Inc., telefone 001.616.5522090 – USA

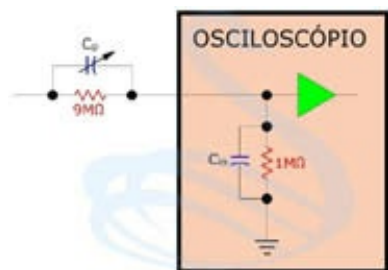


figura 13.25 ponta de prova de osciloscópio, tipo 10X

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A propósito, não se deve nem pensar em fazer medições de altas voltagens com pontas de prova convencionais. Estas, são vulgarmente chamadas de pontas 10X por sua capacidade de atenuar 10 vezes os sinais de entrada. Elas são projetadas para trabalhar com picos de voltagem de até 500 volts, e sua impedância de entrada fica tipicamente no entorno de 1 MW, em paralelo com uma pequena capacitância, geralmente de 10 a 50 pF.

A figura 13.25 ilustra simplificada o circuito de um atenuador 10X dessas pontas de prova.

Quando a voltagem ultrapassa o limite para o qual o produto é especificado, o aquecimento exagerado do resistor de atenuação altera o valor de sua própria resistência, do que podem resultar erros grosseiros de medição.

Em circunstâncias mais severas de excesso de voltagem, o resistor pode ser danificado, caso em que é praticamente certa a destruição dos circuitos de entrada de osciloscópios analógicos ou digitais.

Há pontas de prova especificamente projetadas para medições de altas voltagens.

Entre estas, por sua qualidade e garantia de resultados, posso recomendar duas: o modelo P6009 da Tektronix, com banda passante de 120 MHz e voltagem máxima de 1.500 volts, e o modelo P6015, também da Tektronix, com banda passante de 75 MHz e voltagem máxima de 20.000 volts.

13.8.6.3 Voltímetros

Os volímetros digitais são instrumentos muito eficazes para a leitura de fenômenos de

muito curta duração, propiciando informações no domínio do tempo.

Pontas de prova de alta-voltagem para voltímetros analógicos e digitais podem ser adquiridas nas boas casas do ramo. Elas são fabricadas para medições de magnitudes de até 40.000 volts.

A característica dessas pontas especiais é possuir um resistor, que forma um divisor de voltagem com a impedância de entrada do voltímetro.

Se o voltímetro tem impedância de, digamos, 10 MW, o que é comum para trabalhos gerais em eletrônica, um resistor em série de 10.000 MW, ou 10 GW, permitirá que quilovolts sejam medidos quando o instrumento estiver indicando volts.

As pontas de prova de alta-voltagem são dotadas de isolamento adequada para prevenir que os usuários recebam choques elétricos.

A maioria das pontas de prova possui resistores de filme de carvão, e por isso mesmo experimentam grandes variações de resistência com a temperatura.

Como resultado, mesmo que os voltímetros apresentem erros de fundo de escala de apenas $\pm 1\%$, o erro global das medições de voltagens elevadas pode estar no entorno de 5%.

Medições mais precisas podem ser feitas com voltímetros eletrostáticos.

Esses instrumentos são fabricados a partir de um capacitor com duas placas, ao estilo dos capacitores usados para sintonia de receptores de rádio.

Uma das placas é rigidamente fixada na base do instrumento, enquanto a outra pode girar apoiada num mancal de baixa fricção.

A aplicação de cargas eletrostáticas sobre as placas produz um torque que age sobre a placa móvel. Em resposta, esta se movimenta. A força restauradora é provida por uma mola espiralada presa na própria placa móvel.

Esses voltímetros são relativamente raros porque, uma vez que não são sensíveis a polaridades, seu uso é limitado.

Contudo, eles respondem aos valores RMS das voltagens de entrada, que podem estar entre 3 e 100 KV. Sua capacitância de entrada típica é de 10 a 20 pF.

O erro máximo de um voltímetro eletrostático é de aproximadamente 0,5%.

13.8.7 Tratamento

13.8.7.1 Contra A Variação de Voltagem O tratamento mais comum contra variações de voltagem é usar reguladores ou estabilizadores de voltagem.

Acredito que todos os profissionais do áudio já tenham tido alguma experiência com esses produtos, aparelhos indicados para casos de distúrbios moderados, principalmente sobrevoltagens e subvoltagens.

Devemos entender que há inúmeras maneiras de construir reguladores de voltagem. Cada regulador diferente apresenta características operacionais próprias e distintas dos demais. Os principais parâmetros que diferenciam os vários tipos de reguladores são: tempo de resposta, eficácia no trabalho com cargas diversas, impedância de saída, ruído audível e variações percentuais de voltagem de entrada para as quais a voltagem de saída ainda se mantém relativamente constante.

Os tipos fundamentais de reguladores são: autotransformador motorizado com transformadora série, regulador de indução motorizado, regulador de reator saturável, autotransformador com taps e comutação eletrônica, transformador ferorressonante e regulador eletrônico.

Evidentemente, a escolha de cada tipo deve ser sempre orientada pela natureza do distúrbio e pela relação custo/benefício.

autotransformador motorizado com transformador série

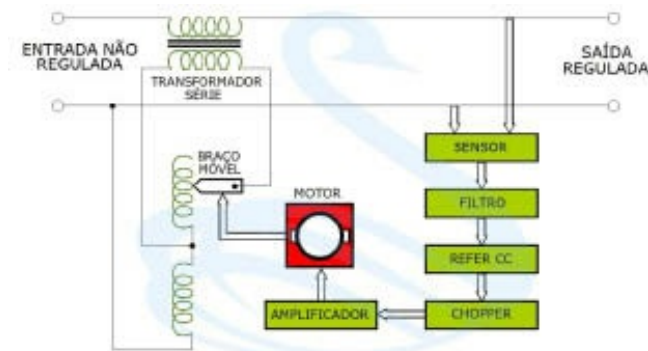


figura 13.26 circuito de regulador com autotransformador motorizado e transformador série acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O regulador autotransformador motorizado com transformador série, ilustrado na figura 13.26, apresenta duas vantagens muitíssimo apreciadas. Baixo custo em relação a qualquer outro tipo de regulador e sua excepcionalmente alta capacidade de trabalhar com elevadas demandas de energia.

A compensação é que as desvantagens também são consideráveis.

A principal delas é a resposta muito lenta do aparelho, principalmente em casos de variações bruscas de voltagem. A outra desvantagem resulta diretamente da característica construtiva de todos os modelos desse tipo de dispositivo. É a necessidade constante de manutenção regular.

Durante essas manutenções o regulador não pode ser empregado em condições normais de utilização.

regulador de indução motorizado O regulador de indução motorizado utiliza princípios semelhantes ao do regulador anteriormente discutido. Suas vantagens e desvantagens em relação aos demais tipos também são semelhantes ao do autotransformador motorizado.

Esse tipo de regulador de voltagem pode ser construído para trabalhar com cargas bastante pesadas e de altas demandas de correntes. Por isso, e por seu inerente baixo custo, é muito apreciado e utilizado por empresas locadoras.

regulador de reator saturável Construtivamente, o reator saturável é um dispositivo muito semelhante a um transformador. Contudo, há nele um terceiro enrolamento, denominado enrolamento de controle, o qual é alimentado por uma fonte de corrente CC.

O aumento ou redução da corrente CC no enrolamento de controle provoca correspondentes variações nas indutâncias dos demais enrolamentos. O efeito resultante dessas variações de indutância é similar ao que seria causado por aumentos ou reduções das quantidades de espiras.

Dessa maneira, se as variações da voltagem de entrada são utilizadas como um referencial para determinar as alterações da corrente de controle, então é possível controlar a voltagem de saída em função das variações da voltagem de entrada.

autotransformador com taps e comutação eletrônica O autotransformador com taps e comutação eletrônica, também chamado de transformador de relação variável, é mais conhecido como VARIAC.

Ele apresenta o grande inconveniente de não oferecer isolamento. Porque as espiras primárias e secundárias compartilham o mesmo enrolamento. Aliás, como qualquer autotransformador.

Por essa razão, esse tipo de regulador não apresenta os requisitos essenciais mínimos para aplicações em áudio profissional. Razão pela qual não será discutido com mais detalhes.

transformador ferorressonante

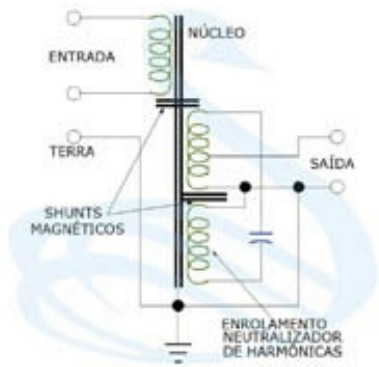


figura 13.27 esquema básico do regulador de tensão do tipo ferorressonante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No regulador ferorressonante, ilustrado na figura 13.27, o núcleo do transformador opera em regime de saturação. Isto significa que a magnitude da indução magnética B é independente da magnitude do campo magnético H .

Uma vez que as magnitudes da voltagem de entrada, da corrente elétrica que circula pelo enrolamento primário, e do campo magnético H são todas proporcionais, o valor de B é essencialmente independente da voltagem de entrada.

Por esse motivo, sem outros circuitos, a voltagem de saída seria uma onda quadrada com a mesma frequência que a da voltagem de entrada.

Entretanto, o secundário do transformador é equipado com um circuito ressonante formado por um capacitor e um indutor, especialmente projetado para reconstituir a voltagem de saída, para uma forma de onda quase sinusoidal.

Se for necessária uma forma de onda sinusoidal, o circuito ressonante poderá ser do tipo neutralizador de harmônicas, e a forma de onda desejada será obtida com distorção harmônica inferior a 3%.

Em comparação com os reguladores anteriormente discutidos, o ferrorressonante exibe um grande elenco de vantagens: • excelente regulação de voltagem, tipicamente $120 \text{ VCA} \pm 3\text{V}$ na saída, para quaisquer voltagens de entrada entre 95 e 138 VCA • o regulador é inerentemente à prova de curto-circuito. Para saída curto-circuitada, a corrente secundária será limitada a valores entre 1,5 a 2,0 vezes o valor nominal máximo, condição que não coloca o aparelho sob riscos sérios de danos físicos • o circuito ferrorressonante tende a ignorar quedas de fornecimento de energia com duração de até 4 ms, porque o circuito ressonante continuará oscilando. O circuito também oferece excelentes RRMCs para frequências de até 10 kHz • é um equipamento de altíssima confiabilidade, em razão do uso de poucos componentes, e também, da ausência de partes móveis • a proteção para as cargas contra transientes é muito elevada Mas nem tudo é um mar de rosas. Os reguladores ferrorressonante são pouco eficientes, podem produzir hum audível e muitas vezes incômodos, além de serem aparelhos relativamente sensíveis a variações de frequência.

Também são dispositivos pesados e volumosos.

regulador eletrônico

O regulador eletrônico de voltagem é projetado e fabricado em inúmeras configurações, mas o arranjo básico da maioria deles é aquele apresentado na figura 13.28.

De um modo bastante simplificado, a descrição de funcionamento de um regulador eletrônico pode ser feita como segue.

Os circuitos internos do aparelho retificam a voltagem CA de entrada, que a seguir é processada por um regulador de voltagem CC.

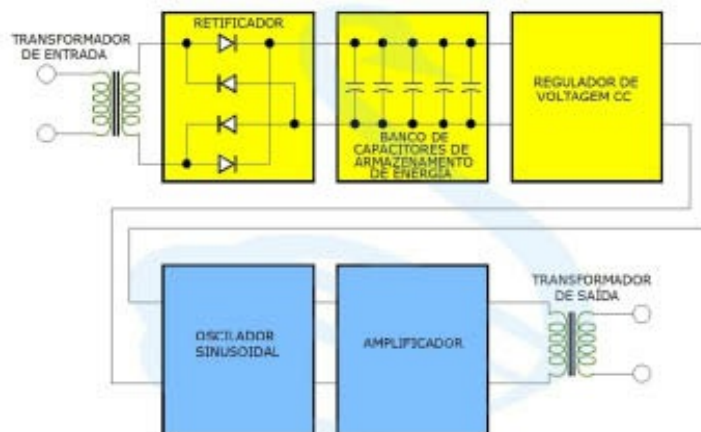


figura 13.28 esquema básico do regulador eletrônico de voltagem acervo do engº Luiz Fernando O.

Cysne Um oscilador sinusoidal converte essa voltagem CC, já regulada, em voltagem CA.

A seguir, a voltagem é amplificada e entregue à carga através de um segundo transformador.

Esse tipo de regulador não só mantém a voltagem de saída constante, mesmo diante de

grandes variações de voltagens de entrada, como ainda remove com grande eficiência praticamente todos os distúrbios das linhas CA, exceto interrupções de fornecimento.

conjunto motor-gerador

A figura 13.29 mostra o arranjo básico de um motor-gerador.

O motor elétrico do conjunto é alimentado a partir da energia CA disponível. Seu movimento de rotação é transmitido para o gerador através de um eixo mecânico comum, geralmente construído com material eletricamente isolante.

O que garante que não haja quaisquer ligações elétricas entre as entradas e as saídas do conjunto.

É por esse motivo que se atribui a um motor-gerador com eixo isolante a característica de isolação absoluta.



figura 13.29 arranjo básico de um conjunto motor-gerador acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A atenuação dos ruídos de modo diferencial é facilmente obtida em razão do elevado momento de inércia que governa a operação em regime do conjunto.

Pelo mesmo motivo, quedas prolongadas, e até mesmo curtas interrupções de fornecimento, praticamente não influenciam a voltagem de saída.

Com esses predicados, o motor-gerador é uma forma bastante eficaz de dar combate aos distúrbios das linhas CA.

Esses conjuntos são utilizados para consumos de energia da ordem de 2 KVA, ou mais.

13.8.7.2 Contra Picos (Spikes) Uma das formas mais comuns de combater picos é utilizar componentes não lineares.

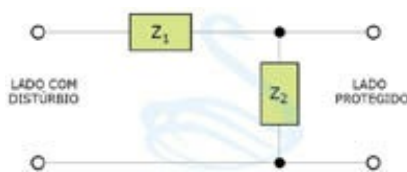


figura 13.30 circuitação típica para controle de voltagens muito elevadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 13.30 mostra um circuito típico e genérico usado para a supressão de picos nas linhas CA.

Dependendo da frequência do ruído, a impedância Z_1 pode ser um resistor, ou um indutor ou um capacitor. Pode até mesmo ser um componente parasítico resistivo ou indutivo da própria linha, ou ainda, a resistência de um fusível ou de um disjuntor.

Via de regra Z_2 é um componente não linear, como um centelhador, um varistor ou um diodo de avalanche.

Portanto, os componentes não lineares são usados na primeira linha de combate na guerra contra as voltagens muito elevadas, como as produzidas por quedas de raios sobre os cabos de

energia nas proximidades.

centelhadores



figura 13.31 centelhadores para proteger circuitos de voltagens além de um determinado limite
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No seu afã de proteger os caríssimos circuitos telefônicos dos efeitos dos raios, a indústria telefônica imaginou, há décadas, uma forma muito simples e barata de fazê-lo. Surgiram então os centelhadores, colocados através dos cabos telefônicos, como mostra a **figura 13.31.**

Certamente esses são os protetores de sobrevoltagem mais velhos e mais baratos que se conhece. Em sua variedade mais antiga, são formados por dois bloquinhos de carvão separados entre si, chamados eletrodos. O espaçamento entre eles pode ser ajustado para que haja condução pelo dispositivo a partir de um determinado valor de voltagem, por exemplo 600 volts.

Atualmente há diversos outros tipos de centelhadores. Com eletrodos metálicos, e outros selados em cápsulas que encerram gases nobres, o que aumenta a vida útil do componente.

Há também centelhadores miniaturizados com encapsulamento cerâmico e capacidade de condução de picos de corrente de até 20.000 ampères por períodos não superiores a 10 ms.

Em muitas instalações os centelhadores são a principal forma de proteção contra qualquer manifestação de sobrevoltagem e de transientes.

varistores

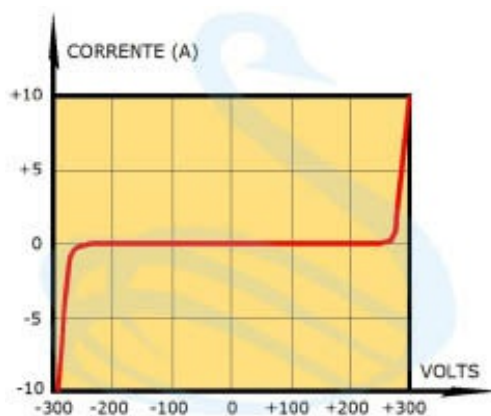


figura 13.32 curva V-I típica de um varistor de óxido metálico, apresentada em escala linear
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Varistor é o nome genérico de qualquer resistor com resistência **variável.**

O gráfico da figura 13.32 mostra uma curva V-I típica de um varistor de óxido metálico, ou VOM.

Observa-se que, para voltagens aproximadamente entre 300 volts positivos e negativos, o varistor não conduz. Entretanto, ultrapassados esses limites ele passa a conduzir muito rapidamente, apresentando comportamento semelhante ao dos centelhadores.

Os varistores apresentam vantagens e desvantagens em relação aos centelhadores. A maior

desvantagem é a relativa baixa precisão, com tolerâncias que chegam a $\pm 30\%$.

A principal vantagem é seu tempo de resposta incrivelmente reduzido.

Os VOMs podem passar do estado de não condução para o de condução em apenas 500 picossegundos.

Há uma espécie de consenso internacional de que os varistores são hoje a melhor alternativa para proteção de aparelhos eletrônicos em geral, contra os efeitos de praticamente todos os tipos de sobrevoltagem.

Os varistores podem ser usados em combinação com centelhadores e com outros dispositivos.

diodos de avalanche

O termo avalanche está relacionado com o mecanismo que faz este componente apresentar o comportamento que sugere sua curva V-I típica, ilustrada no gráfico da figura 13.33.

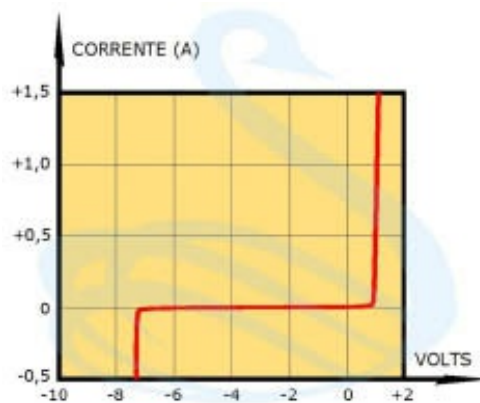


figura 13.33 curva V-I típica de um diodo de avalanche acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há algumas formas diferentes de implementação de proteção com estes componentes, mas a forma básica é semelhante à dos varistores.

Entretanto, os diodos de avalanche são componentes essencialmente unidirecionais, e para que possam ser usados em aplicações de proteção bipolar devem ser ligados costa a costa, como ilustra a figura 13.34.



figura 13.34 diodos de avalanche configurados costa a costa acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

13.8.7.3 Contra Surtos (Surges) Os remédios contra os surtos são em tudo semelhantes aos empregados para os picos, com a exceção do tempo de resposta. Estes devem estar sempre de acordo com as durações dos fenômenos que se procura combater. Ou seja, dispositivo com tempos de resposta adequados para os surtos que vão combater são denominados supressores de surto (surge suppressors).

As voltagens típicas de atuação (grampeamento) dos supressores de surto são 350 volts, 400 volts e 500 volts. Os produtos podem ser feitos com um, dois, três ou mais estágios. Quanto ao tempo de resposta, eles podem estar na casa dos nanossegundos ou dos picossegundos. E as proteções podem ser:

- fase - neutro

- fase - neutro, e fase - terra
- fase - neutro, fase - terra, neutro - terra

Os melhores, mas

nem sempre necessários, são os dispositivos que grampeiam em 350 volts, com três ou mais estágios, com resposta de poucos picossegundos e configuração de fase e neutro, fase e terra, e neutro e terra.

Devo mencionar que em muitos desses dispositivos é possível ajustar os tempos de respostas de acordo com as necessidades. Logo, nesta particular hipótese, os dispositivos utilizados para combater picos e surtos podem ser os mesmos, aceitando-se que a diferença é apenas a dos ajustes.

13.8.7.4 Contra Picotes (Sags) Vimos que os picotes são a ausência de fornecimento que se constata por períodos que variam de um ciclo completo CA a 2,5 segundos.

A melhor forma de combater esse distúrbio é utilizando fontes nobreak, discutidas adiante.

13.8.7.5 Contra Impulsos e Transientes



figura 13.35 circuito contendo chokes de filtro (roxo claro) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O combate aos impulsos transientes depende muito de como eles se apresentam na prática. Para transientes de altas frequências são geralmente adequadas as contas de ferrite e os chokes de filtro. As contas de ferrite são pequenos tubos inseridos nos condutores afetados como se fossem as contas de um colar. O aspecto dos chokes de filtro é o de pequenos transformadores, como ilustra a figura 13.35.

13.8.7.6 Contra Picos Positivos e Negativos Quando os ruídos assumem a forma de picos positivos ou negativos e sua característica é de modo comum, então transformadores isoladores podem ser uma excelente opção. Se esses mesmos ruídos forem de modo diferencial, os transformadores permitirão sua passagem sem restrições já que tais componentes são construídos para processar sinais diferenciais. Esses ruídos diferenciais podem ser combatidos com filtros assimétricos de linha, também tratados adiante.

Teoricamente, qualquer transformador apresenta isolação CC entre seus enrolamentos primário e secundário. De modo que para todos os efeitos, qualquer transformador pode ser considerado um componente de isolação.

Um dos principais tópicos apresentados em qualquer literatura sobre transformadores é que esses componentes processam sinais de modo diferencial e bloqueiam sinais de modo comum.

Um claro exemplo disso para o profissional do áudio é a alimentação phantom power de

+48 VCC para microfones, que é totalmente bloqueada pelos transformadores usados nas linhas dos microfones. O bloqueio de sinais de modo comum é verdadeiro. Mas nem tanto. Senão, vejamos.

O princípio de operação dos transformadores é o acoplamento indutivo, como sabemos. Ou seja, uma corrente elétrica passa pelo enrolamento primário, o que, por força das indutâncias mútuas entre os dois enrolamentos, induz outra corrente no enrolamento secundário.

É dessa maneira que sinais diferenciais são processados pelos transformadores.

Vimos também que há uma segunda maneira de acoplamento entre os enrolamentos, que tem origem na capacitância parasítica indesejável, mas sempre presente, que se verifica entre as espiras dos enrolamentos de qualquer transformador.

Esse acoplamento permite que sinais de modo comum sejam transferidos, tanto mais quanto mais elevada for a frequência, uma vez que o acoplamento capacitivo aumenta com ela.

Os transformadores empregados nos sistemas públicos de energia apresentam elevados acoplamentos capacitivos de primário para secundário.

Com isso, todas as formas de transientes, inclusive as de modo comum e as de altas frequências, passam por esses transformadores sem dificuldades apreciáveis.

Vimos também que esse problema pode ser controlado de forma significativa se entre os enrolamentos for interposta uma blindagem de campo elétrico, também conhecida como blindagem de Faraday.

O que se convencionou chamar de transformador de isolamento é um tipo de transformador de construção muito especial, especificamente projetado para oferecer isolamento de modo comum mesmo em altas frequências.

O que não acontece com os transformadores convencionais.

Nos de isolamento, são usadas uma ou mais blindagens de Faraday, e em alguns transformadores mais elaborados, além disso, também é usada uma blindagem eletrostática envolvendo os enrolamentos do transformador.

Portanto, esse remédio é especialmente recomendado para casos de distúrbios transientes de altas frequências e de modo comum.

Por favor, não acredite quando lhe disserem que qualquer transformador é um componente isolador.

13.8.7.7 Sinais Amortecidos Quando os ruídos assumem a forma de picos positivos ou negativos e sua característica é de modo comum com amortecimento natural, os transformadores isoladores continuam sendo boa opção. Entretanto, se esses ruídos forem de modo diferencial, os transformadores permitirão sua passagem.

A alternativa de combate é empregar filtros assimétricos de linha, também tratados adiante.

13.8.7.8 Contra Queda (Blackout) Há pouco a se fazer contra as quedas. Principalmente porque o fenômeno tem duração de um ciclo. Imagina-se que uma das melhores ações contra as quedas é empregar aparelhos com fontes próprias de alimentação de boa qualidade e projetadas para operar com certa folga.

13.8.7.9 Contra Interrupções de Fornecimento (Outages) Quando as interrupções de fornecimento não podem ser toleradas o remédio é empregar fontes de alimentação nobreak. Esta é uma das maneiras mais diretas para neutralizar as interrupções mais prolongadas de fornecimento. Há três variedades de fontes nobreak: as verdadeiras, as de espera e o motor-gerador modificado.

fonte nobreak verdadeira

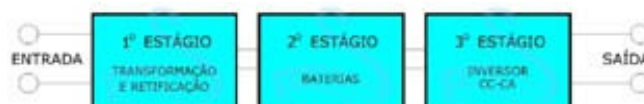


figura 13.36 diagrama de blocos de uma fonte nobreak verdadeira acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para ser considerada verdadeira, a fonte nobreak deve estar em operação permanente. Seu diagrama de blocos simplificado, no qual se observam três estágios, é o que ilustra a figura 13.36.

Enquanto a voltagem de entrada se situa dentro de dois limites preestabelecidos, o primeiro estágio reduz sua magnitude para um valor conveniente, e em seguida a retifica.

A voltagem CC obtida é utilizada para carregar as baterias do segundo estágio, e para suprir energia ao terceiro estágio. Neste, a ação combinada de um oscilador e de um amplificador restabelecem uma forma de onda sinusoidal pura, na voltagem nominal da linha CA, ou em qualquer outra desejada.

Quando a magnitude da voltagem de entrada cai para qualquer valor inferior ao limite mínimo especificado, as baterias passam a suprir energia para o terceiro estágio, de modo que a voltagem de saída não sofre qualquer alteração, queda ou interrupção.

Como a energia entregue para a carga é virtualmente gerada na fonte nobreak, todo e qualquer distúrbio da linha CA não produz efeitos sobre a carga.

Vendo por essa perspectiva, a fonte nobreak verdadeira é a maneira ideal para evitar distúrbios nas linhas. A simplificação da figura 13.36 serve a nossos propósitos de conhecer os fundamentos da fonte nobreak verdadeira. Mas esses produtos podem ser bem mais complexos do que o diagrama realmente sugere.

Geralmente, uma boa fonte nobreak verdadeira inclui transformadores na circuitação dos carregadores de baterias, e transformadores de isolamento entre os amplificadores do terceiro estágio e as cargas.

Em alguns modelos, a realimentação negativa dos amplificadores é engenhosamente utilizada para a obtenção de duas funções adicionais. Incrementar a regulação da voltagem RMS de saída e minimizar as distorções da forma de onda de saída.

O tempo durante o qual o banco de baterias é capaz de manter a carga energizada é denominado autonomia do nobreak. Nos produtos mais baratos, a autonomia é aproximadamente 10 minutos. Em produtos projetados para aplicações profissionais a **autonomia** pode chegar a 6 horas, e até a ultrapassar esta marca, como no caso das centrais telefônicas fixas.

É óbvio que o predicado mais importante de qualquer fonte nobreak verdadeira é a elevada confiabilidade. Esse parâmetro é geralmente especificado em termos de MTBF. O MTBF de qualquer fonte nobreak verdadeira não deve ser inferior a 10.000 horas.

Vai se percebendo que as fontes nobreaks verdadeiras são produtos caros. Tanto que muitas vezes podem ser até mesmo mais caras que os sistemas que alimentam.

A decisão de usá-las ou não é invariavelmente difícil. Mas não é uma decisão técnica, pois em última análise o que deve ser decidido é se as consequências de eventuais paralisações do sistema de áudio são ou não toleráveis.

fonte nobreak de espera (SPS – Standby Power Supply)

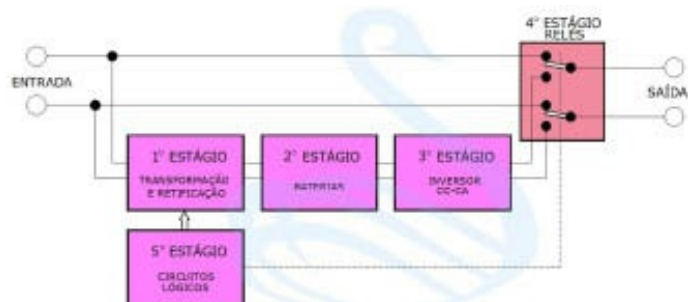


figura 13.37 diagrama de blocos simplificado de uma fonte nobreak tipo de espera acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As fontes nobreak de espera são projetadas com uma única finalidade. Energizar a carga quando a magnitude da voltagem de entrada cai para qualquer valor inferior a um limite mínimo especificado.

O correspondente diagrama de blocos simplificado é o que mostra a figura 13.37. Os três primeiros estágios são operacionalmente semelhantes aos três estágios da fonte nobreak verdadeira.

Como se nota na figura, a carga é alimentada pela própria linha CA através de um relé de transferência, que constitui o quarto estágio.

Essa configuração é mantida para condições normais de voltagem de entrada.

O quinto estágio inclui toda a circuitação lógica do aparelho, que deve ser capaz de detectar as variações de voltagem da linha CA com a finalidade de operar o relé de transferência sempre que necessário.

Quando o relé é operado, a carga passa a ser energizada exclusivamente pelo banco de baterias.

Dependendo do particular projeto da fonte nobreak de espera, a operação do relé pode demorar alguns milissegundos, período durante o qual a carga fica sem energia.

Testes de laboratório mostram claramente que essa aparente desvantagem dificilmente se constitui num problema para os sistemas de áudio.

A autonomia típica de uma fonte nobreak de espera varia entre 10 e 30 minutos. Mas é possível projetá-las para quaisquer outras autonomias.

Apesar da aparente semelhança dos três primeiros estágios das fontes nobreak verdadeiras com as de espera, pelo fato destas últimas não precisarem estar permanentemente operando, seus preços são significativamente inferiores aos daquelas.

fonte nobreak motor-gerador modificado



figura 13.38 diagrama de blocos simplificado de um motor-gerador modificado acervo do engº Luiz

Fernando O. Cysne O arranjo da figura 13.38 é uma pequena variação do arranjo anteriormente apresentado na figura 33. O terceiro estágio é duplo, possuindo um motor CC e um gerador CA. Este gerador CA substitui o motor CC do conjunto motor-gerador, e estão de volta os dois primeiros estágios das fontes nobreak anteriores. O primeiro, que é a fonte CC, e o segundo que é o banco de baterias.

Em condições normais de voltagem de entrada o motor CC é energizado pela linha CA, através do primeiro estágio. Quando a magnitude da voltagem de entrada cai para qualquer valor inferior ao limite mínimo especificado, quem energiza o motor CC é o banco de baterias.

Desta forma, o gerador CA estará sempre energizado.

Todas as vantagens inerentes ao motor-gerador discutido anteriormente são aplicáveis ao motor-gerador modificado.

13.8.7.10 Contra Ruídos de Radiofrequência Como vimos, os ruídos de altas frequências, como os de radiofrequência, podem ser transferidos dos sistemas de energia para os aparelhos e sistemas de áudio através dos cabos que portam energia CA.

Uma vez instalados nos aparelhos, os ruídos atingem os enrolamentos secundários dos transformadores de força via capacitância parasítica existente entre os enrolamentos primários e secundários.

E dessa forma os ruídos de alta frequência presentes nesses enrolamentos secundários podem apresentar magnitude muito superior ao que seria de se esperar apenas em função das relações de espiras, ou mesmo da magnitude do ruído no sistema de energia.

Também não se pode esperar que os circuitos de regulação de voltagem CC das fontes de alimentação dos aparelhos reduzam esses ruídos.

De fato, por uma questão de produto ganho versus banda passante, componentes de altas frequências não poderiam ser por eles rejeitados nas proporções das ondulações de 60 ou 120 Hz, que são as frequências para retificadores de meia onda e de onda completa, respectivamente.

A razão é que os capacitores eletrolíticos de filtragem das fontes CC dos aparelhos apresentam elevadas indutâncias série. O que os inibe de drenar para a terra frequências superiores a cerca de 1 MHz. Consequentemente, tais ruídos atingem facilmente o coração da circuitação de qualquer aparelho de áudio.

Os filtros de linha provavelmente são a forma mais simples e barata de filtrar as linhas CA.

Há excelentes filtros de linha, vários deles muito eficazes, mas também há os “desonestos”, que são verdadeiras aberrações técnicas. Sem oferecer qualquer contrapartida para seu baixo custo.

Essa classe de produto tem conferido aos filtros de linha, como um todo, uma péssima reputação, que infelizmente é muita injusta para os melhores produtos.

Os filtros de linha são essencialmente filtros passa baixas, projetados para dar combate aos distúrbios transientes. Mas por suas características próprias, eles também acabam sendo eficazes contra combinações de ruídos de modo comum com modo diferencial.

Independentemente do carinho utilizado no projeto e na construção, os filtros de linha vão perdendo sua eficácia à medida que a frequência do distúrbio vai diminuindo.

Portanto, é fundamental estudar bem as especificações de qualquer filtro que se pretenda empregar.

Além disso, a capacidade de drenar ruídos de modo comum para terra de qualquer filtro de linha é governada primordialmente pela impedância do terra que lhe é dedicado. Em outras palavras, se usamos terras de baixa qualidade, os resultados apresentados pelos filtros serão, correspondentemente, de baixa qualidade.

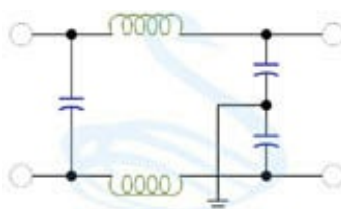


figura 13.39 circuito fundamental de um filtro de linha (passa baixas) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nos bons projetos de filtros de linha são utilizados indutores em série com a linha, e capacitores entre estas e a terra. Como mostram as figuras 13.39 e 13.40.

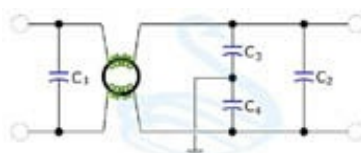


figura 13.40 filtro de linha para combate a ruídos de modo comum e de modo diferencial acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

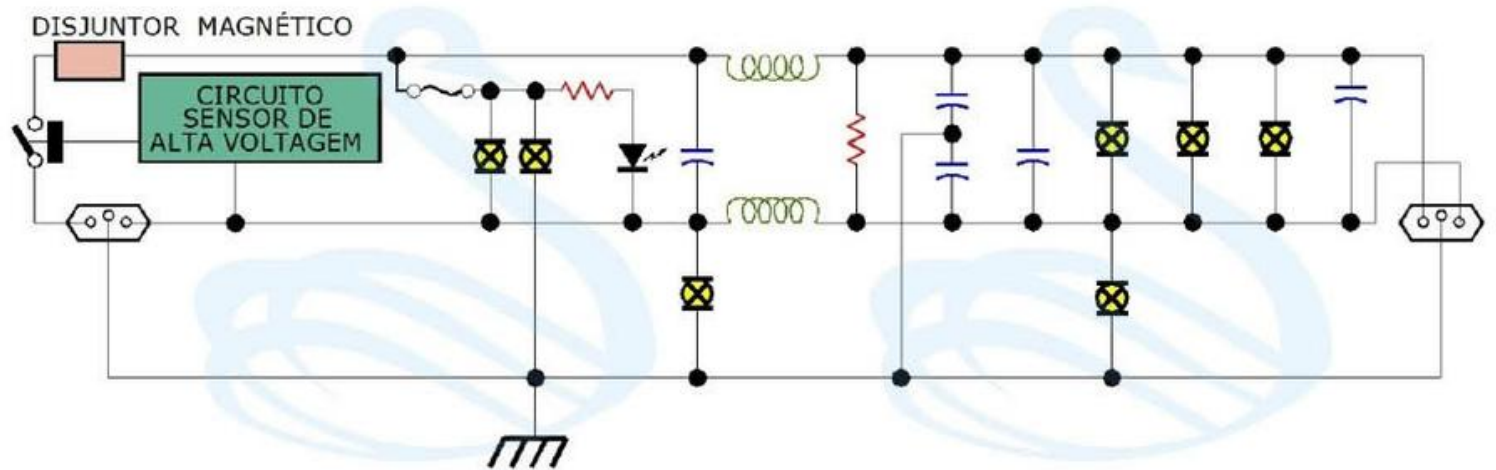


figura 13.41 combinação de filtro de linha com diversos VOMs, incluindo circuito sensor de alta voltagem e válvula de descarga a gás. Num dispositivo destes, o excesso de voltagem é absorvido em sequência, por estágios sucessivos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 13.41 ilustra o típico circuito de um filtro de linha projetado para atenuar tanto os ruídos de modo comum quanto os de modo diferencial. O indutor do filtro da figura 35 é um choque de modo comum. Os capacitores C_1 e C_2 da figura 13.40 atenuam ruídos de modo diferencial, enquanto os capacitores C_3 e C_4 atenuam os de modo comum.

Os filtros ilustrados nas figuras 13.39, 13.40 e 13.41 são para uso com alimentação a três fios: fase, neutro e terra.

Os filtros de linha comerciais de boa lavra apresentam atenuações que variam entre 30 e 70 dB para frequências de 150 kHz a 30 MHz, operando em circuitos de 50 W. Para atenuações mais elevadas com frequências abaixo de 150 kHz, os indutores passam a ser inconvenientemente volumosos.

Mas há produtos que empregam tecnologias especiais, e que apresentam boas características de atenuação para frequências tão baixas quanto 10 kHz. A desvantagem está nos preços elevados.

Usados sozinhos, os filtros de linha são menos eficientes do que combinações deles com unidades não lineares.

Laboratórios norte-americanos que testaram filtros de linha comerciais reportaram que diversos produtos testados estão sujeitos a arcos elétricos entre os terminais de entrada e a terra, quando recebem voltagens da ordem de 10 KV, ou superiores.

Uma das formas de eliminar o inconveniente é associar os componentes não lineares aos filtros de linha.

13.8.8 Condicionamento de Linha O tratamento dado às linhas de energia leva o nome genérico de condicionamento de linha.

Subentende-se que uma linha de energia condicionada está preparada para neutralizar os efeitos dos distúrbios que podem acometê-la.

Naturalmente, o tratamento deve ser prescrito caso a caso, e sua natureza estará intimamente relacionada com o diagnóstico levantado, como acabamos de discutir.

Também é possível dizer que condicionar uma linha CA é obter dela um dado desempenho especificado.

Para tanto, são usados condicionadores de linha, ou simplesmente condicionadores. Inclusive os reguladores de voltagem.

Com relação ao desempenho, não há um padrão universal definido. O que é compreensível. Ao menos se tivermos em mente que cada sistema técnico se faz acompanhar de suas próprias especificações de desempenho, inclusive no que se refere à alimentação.

Entretanto, muitos especialistas concordam que uma linha CA condicionada deve apresentar os seguintes predicados mínimos:

- a voltagem de saída deve ser regulada entre -8 e +4% para quaisquer condições de carga, e para variações de voltagem de entrada entre -20 e +10%, sendo os percentuais indicados referidos ao valor nominal da voltagem
- a atenuação de modo comum deve ser de no mínimo 50 dB, para frequências superiores a 100 kHz
- a isolação entre a entrada e a saída deve ser tal que a capacitância máxima da entrada para a saída seja 1 pF

Deve ficar claro que esse conjunto de predicados corresponde às condições mínimas de exigência aplicável a casos profissionais.

O condicionamento adequado de qualquer linha CA é um benefício geralmente caro. Por isso, é sempre recomendável que sua efetiva necessidade seja avaliada com muito cuidado, e à luz de todas as informações disponíveis.

Uma vez que as necessidades tenham sido determinadas, é preciso selecionar o aparato de condicionamento em bases muito criteriosas.

Tipicamente, os condicionadores serão supressores de surtos e de picos, mas incluirão filtros de ruído de desenho sofisticado, muitos oferecerão regulação de voltagem e filtragem de IEM (Interferência EletroMagnética) e de IRF (Interferência de Radiofrequência).

13.8.9 Condicionadores Disponíveis no Mercado 13.8.9.1 Os Fabricantes e Seus Produtos

Alguns dos fabricantes e seus equipamentos:

FABRICANTE	MODELOS
PENTACÚSTICA	PM-1.1, PM-1.2, PM-2.2, PS-1.1 e PS-1.2
ART	401, 402 e 403
ETA	PD8, PD8L, PD9L, PD10VSR, PD11LP, PD11LV, PD11LVSP, PD11P, PD11SS e PD11SP
Furman	PL8, PL-PLUS, PL-PRO, PM-8, PM-PRO e PS-PRO
Panamax	8500
Surge X	SX1115R, SX1120RT, SX2120 e SX2120SEQ
Tripp-Lite	LCR2400

13.8.9.2 Caso Especial Os reguladores de voltagem discutidos até aqui são ferramentas utilizadas para reduzir ou eliminar determinados distúrbios dos sistemas de energia. As fontes

nobreak são formas de evitar paralisações dos sistemas de áudio em casos de quedas e de interrupções de fornecimento.

Uma estratégia totalmente diferente disso é projetar uma mini usina de energia apenas para alimentar o sistema profissional de áudio.

Embora a ideia possa parecer algo pretensiosa e extravagante, e talvez tecnicamente complexa, é tudo menos isso.

Se o motor CA da figura 25 for substituído por um motor de combustão interna a diesel, o gerador poderá ser acionado independentemente de existir ou não sistema de energia elétrica e, no caso de sua existência, de estar ou não havendo fornecimento.

O motor diesel e o gerador assim combinados são chamados grupo motor-gerador.

Essa forma alternativa de produzir energia elétrica pode ser facilmente projetada para qualquer consumo desejado, como 1 ou 150 KVA.

A autonomia é, por assim dizer, determinada pelo tamanho do tanque de combustível. Mas pode ser prolongada indefinidamente com reabastecimentos sucessivos de combustível.

O grupo motor-gerador é muito utilizado em determinadas aplicações, principalmente de sistemas não permanentes, que devem operar em regiões onde a energia comercial é pouco confiável ou insuficiente.

Essa técnica também encontra aplicações quando a energia não pode ser suprida facilmente, como por exemplo em razão da mobilidade do sistema de áudio.

Que são os casos dos “carros de som” e dos trios elétricos.

13.8.10 Defesas Contra a Contaminação de Terra O emprego de tomadas com 3 pinos e o uso de alimentação com condutores fase, neutro e terra é um padrão internacionalmente recomendado por questões de proteção contra riscos de choques letais e contra riscos de acidentes drásticos, a exemplo de incêndios.

Muitos técnicos acreditam que aterrar um equipamento ou sistema é uma opção para evitar ruídos. A rigor, aterrar equipamentos e sistemas é uma providência de segurança e não de redução ou de controle de ruído.

Os condutores terra que utilizamos em nossos sistemas geralmente estão contaminados e estão mais propícios a provocar ruídos em nossos sistemas do que de livrar sistemas de ruídos.

Vejamos quais são as causas que produzem essa contaminação.

13.8.10.1 Voltagem Induzida Pelo próprio conceito de Corrente Alternada, quando a corrente flui pelo condutor fase num sentido, está fluindo no sentido oposto pelo condutor neutro. Essas correntes com direções opostas criam campos magnéticos, cujos sentidos também são opostos.

Assim, se o condutor terra estiver sempre equidistante dos condutores fase e neutro, os campos magnéticos se cancelam. Na prática, a condição de equidistância não existe. E a consequência é o cancelamento apenas parcial dos campos produzidos. Esse resíduo é o suficiente para induzir voltagem no condutor terra. De modo geral, essa voltagem induzida é a origem de inúmeros problemas com os quais se defrontam no dia a dia aos engenheiros de áudio.

13.8.10.2 Fuga

Infelizmente, o mecanismo que acabamos de ver não é a única forma de contaminação do condutor terra.

Em todos os equipamentos há capacitâncias parasíticas entre o chassi metálico e os cabos de energia. Se os aparelhos possuem filtros contra IEM e contra IRF, as capacitâncias indesejáveis são ainda maiores. Como há circulação de corrente por onde se desenvolvem voltagens sobre capacitores, há fluxo de corrente de baixa intensidade mas de efeito deletério considerável entre as linhas de energia e os chassis dos aparelhos.

Essas correntes são denominadas correntes de fuga.

Uma vez que os condutores terra possuem resistência ôhmica, as correntes de fuga geram voltagens, por vezes nada desprezíveis, entre diferentes pontos terra dos chassis dos aparelhos. O efeito é cumulativo num sistema de médio ou de grande porte.

Podemos inferir que os condutores terra que nos atendem também são contaminados por quaisquer outros dispositivos que o compartilhem.

Tipicamente, essas voltagens parasíticas podem chegar a 1 volt CA. Ou mais.

13.9 A OPÇÃO PELO CONDICIONAMENTO DE LINHA

A maneira tecnicamente correta de tomar decisões sobre a utilização ou não de condicionamento de linha, e em caso positivo, que condicionadores selecionar, envolve dois passos: entender bem a natureza dos ruídos e as vantagens e desvantagens de cada um dos tipos de condicionadores de linha.

Quando essa verdadeira regra de bom senso é violada, a tendência é de que a relação custo/benefício das soluções encontradas suba a níveis estratosféricos.

Ainda pior do que isso, frequentemente tais soluções simplesmente não funcionam.

Há um exemplo clássico disso.

Sabemos que os transformadores de isolação oferecem um certo grau de proteção contra alguns tipos de ruído, sendo praticamente transparentes para outros.

Mas muitos indivíduos julgam que a simples utilização de um desses transformadores é cura certa para quaisquer ruídos presentes no sistema de energia.

Naturalmente, implantada uma solução destas, as chances de sucesso são altamente

remotas.

Muitas são as naturezas dos ruídos que podem afetar os sistemas de energia. Também acabamos de discutir situações relacionadas com as naturezas dos ruídos nas linhas externas e internas de suprimento de energia. Então, podemos dizer que agora temos mais elementos para poder fazer um juízo mais criterioso sobre as circunstâncias gerais que, em conjunto, acabam por determinar as possibilidades de ocorrência desses ruídos.

Cabe, então, fazer mais dois comentários sobre os condicionadores de linha.

O primeiro deles trata de algo muito simples, e que na prática é uma providência bastante eficaz para a averiguação mais minuciosa das vantagens e desvantagens específicas de cada condicionador.

Estou falando de estudar detalhadamente as especificações técnicas de todos os tipos de condicionadores de linha inicialmente selecionados para um determinado projeto. Particularmente os trechos de texto que se referem às atenuações de ruídos de modo comum e diferencial.

Quando as especificações são honestas e competentes, e realmente preparadas para informar aos consumidores, as atenuações de ruído dos dois modos são especificadas para diversas frequências. Se este não for o caso, ou se não houverem especificações disponíveis, deve-se indagar diretamente do fabricante.

Se ele não puder apresentar as especificações, mesmo quando solicitado, melhor será esquecer aquele particular produto, pois é quase certo que o fabricante não conheça o seu próprio artigo.

O segundo comentário refere-se ao critério de emprego das fontes nobreak. Ou mais especificamente, qual é o grau de tolerância quanto às consequências de eventuais paralizações dos sistemas de áudio.

Elas podem ser absolutamente intoleráveis, mesmo que por períodos muito curtos, para diversos casos.

Entre estes, os mais comuns são os estúdios de gravação, as emissoras de rádio e de TV, inúmeros sistemas de avisos, como os dos aeroportos, sistemas de emergência em geral, como os sistemas de avisos e chamadas em usinas e plantas de alto desempenho, hospitais, sistemas de mascaramento acústico, e tantos outros.

Por outro lado, há uma série de sistemas de áudio que se temporariamente paralisados podem causar algum desconforto ou sensação de perda. Portanto, um incômodo. Mas ainda assim, algo perfeitamente tolerável.

Exemplo disso são os sistemas de distribuição de música funcional em escritórios.

Antes de se fazer a opção por condicionamentos de linha de preços muito elevados para

utilização com os sistemas de áudio, convém tomar um cuidado especial.

Devemos verificar se não estamos diante de um quadro técnico muito mais simples do que aquilo que em geral se imagina.

Trata-se de uma situação clássica, mas às vezes não percebida facilmente.

Estou me referindo à presença de ruídos elétricos conduzidos ao sistema técnico por apenas um, ou por poucos itens ou equipamentos, alimentados pelo mesmo sistema de energia que serve ao sistema de áudio.

A ocorrência dessa situação é muito frequente. Quando percebida a tempo, geralmente as correspondentes soluções são incrivelmente simples e baratas.

Nestas circunstâncias, antes de nos entregarmos ao exercício de pensar na melhor forma de condicionamento para a energia que serve ou vai servir nosso sistema de áudio, devemos avaliar as alternativas. Como usar filtros específicos junto às próprias fontes de ruído, e eventualmente, até mesmo condicionamentos muito menos elaborados para aqueles “ofensores”, do os que teríamos que empregar somente para os sistemas de áudio.

Além de se constituir numa saída muito eficaz, essa técnica geralmente evita o condicionamento em grande escala para todo o sistema de áudio.

Do que resulta uma economia certa.

O montante economizado pode ser apenas contabilizado como economia, ou se puder ser investido, então poderá ser aplicado com vantagens óbvias no próprio sistema de áudio, se necessário.

Este é também um exemplo bastante claro de como se pode trabalhar para maximizar o investimento feito por aquele que acaba pagando por tudo.

13.10 A OPÇÃO PELOS SISTEMAS TÉCNICOS DE ENERGIA Quando estamos diante da situação de utilização ou não de um sistema técnico de energia, um dos fatores mais importantes a considerar é a relação sinal/ruído final desejada para o sistema de áudio.

Já falamos de inúmeras aplicações de sistemas de áudio nas quais a relação sinal/ruído deve ser extraordinariamente elevada.

Entretanto, também há muitas aplicações para as quais a relação sinal/ruído, embora importante, não é crítica.

São tipicamente os casos de sistemas instalados em casas noturnas tipo danceteria, em praças esportivas, e também os casos de distribuição de música funcional, sistemas de avisos e chamadas em escritórios e locais públicos.

13.11 O DOMÍNIO TÉCNICO DA SITUAÇÃO

A aplicação prática de quaisquer das técnicas de energia, isoladamente ou em combinações, visa obter uma voltagem CA estável, tanto quanto necessário isenta de ruídos, e acima de tudo, rigorosamente adequada para o sistema técnico a ser energizado.

Após levantamento detalhado e análise cuidadosa das circunstâncias, devemos ter condições de dominar sem quaisquer dúvidas às seguintes questões: • se a energia a ser utilizada é proveniente de fonte adequada, inclusive quanto à fase • se é conveniente e necessário utilizar um sistema técnico de energia, e em caso positivo, cuidar especialmente de seu encaminhamento • se é conveniente e necessário utilizar condicionamento de linha, e em caso positivo, que tipo de condicionamento • se é preciso ou não utilizar fontes de energia nobreak, e de que tipo Vamos lembrar que quando a fiação da energia técnica não é conduzida por eletrodutos metálicos rígidos, de aço, a radiação de energia eletromagnética tende a ser elevada.

E que uma técnica bastante eficiente usada para controlar tais radiações é torcer os condutores fase e neutro da fiação não técnica.

13.12 SUPRESSÃO DE TRANSIENTES DE CARGAS INDUTIVAS E DE RUÍDOS PRODUZIDOS POR CARGAS GENÉRICAS

Os problemas provocados por correntes de distorção e de harmônicos, e os efeitos das cargas indutivas sobre as voltagens, são algo terrível. Creio que não preciso gastar muito espaço para convencê-los disso.

Basta dizer que essa foi a razão principal de um incêndio num grande edifício, que tornou-se internacionalmente famoso, ao ser passado para as telas de cinema com o nome “Inferno na Torre”.

13.12.1 Correntes de Distorção e Harmônicos - Sistemas de Energia Inicialmente, e observando o ponto de vista de evitar ruídos para os sistemas de áudio, vamos ver como resolver os problemas resultantes das correntes de distorção e de harmônicos.

Para tanto, comecemos por analisar alguns esquemas de sistemas de energia mais usados.

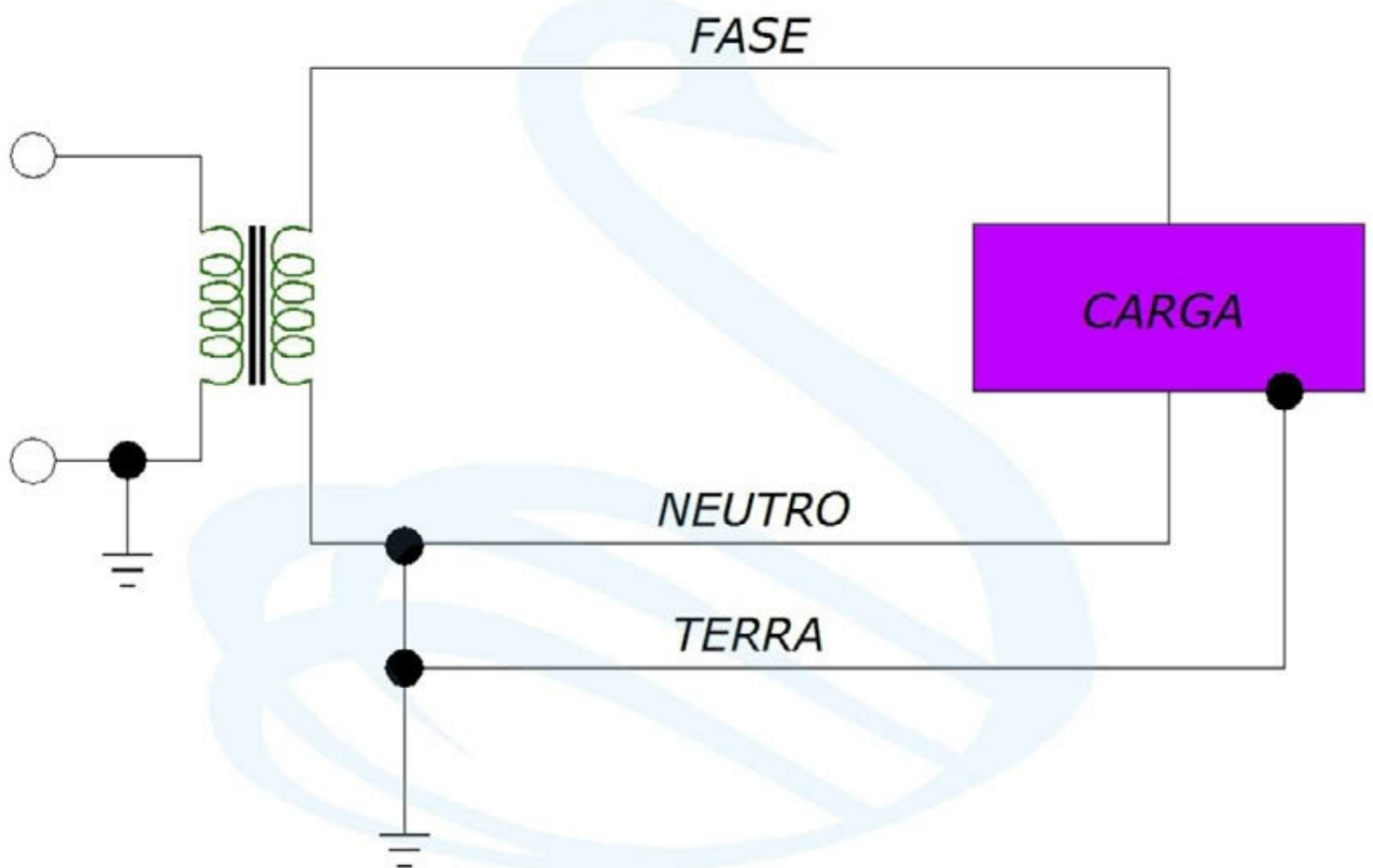


figura 13.42 alimentação convencional com fase, neutro e terra acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
A figura 13.42 nos mostra um esquema clássico e muito comum de distribuição a 3 fios, com fase, neutro e terra.

Quando uma carga não resistiva é energizada por tal configuração, as correntes reativas vão ter aos condutores neutro e terra.

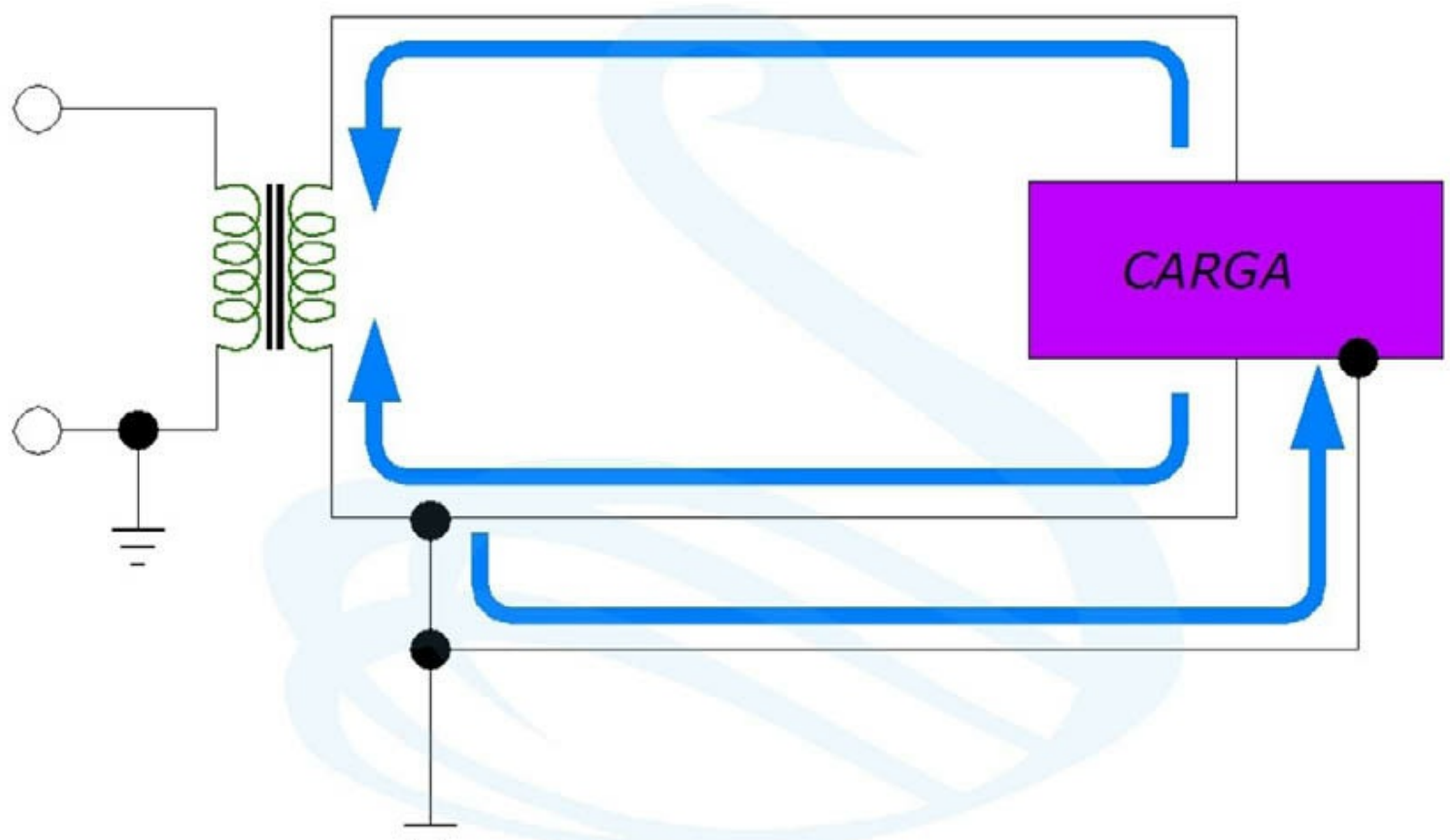


figura 13.43 caminhos de condução de ruído em alimentação convencional acervo do engº Luiz

Fernando O. Cysne As linhas mais grossas da figura 13.43 mostram claramente como essas correntes reativas e harmônicos atingem o condutor de aterramento do sistema de energia. Uma vez que isso tenha ocorrido, para aplicações em sistemas de áudio, o terra do sistema elétrico já está comprometido.

Observa-se na figura que a referência de terra acaba sendo saturada pelo ruído, o que impõe uma voltagem de ruído com forma e características muito próprias.

Por isso mesmo também chamada de assinatura de voltagem do sistema de aterramento.

Quanto mais equipamentos são alimentados por esse sistema, mais essas assinaturas se evidenciam.

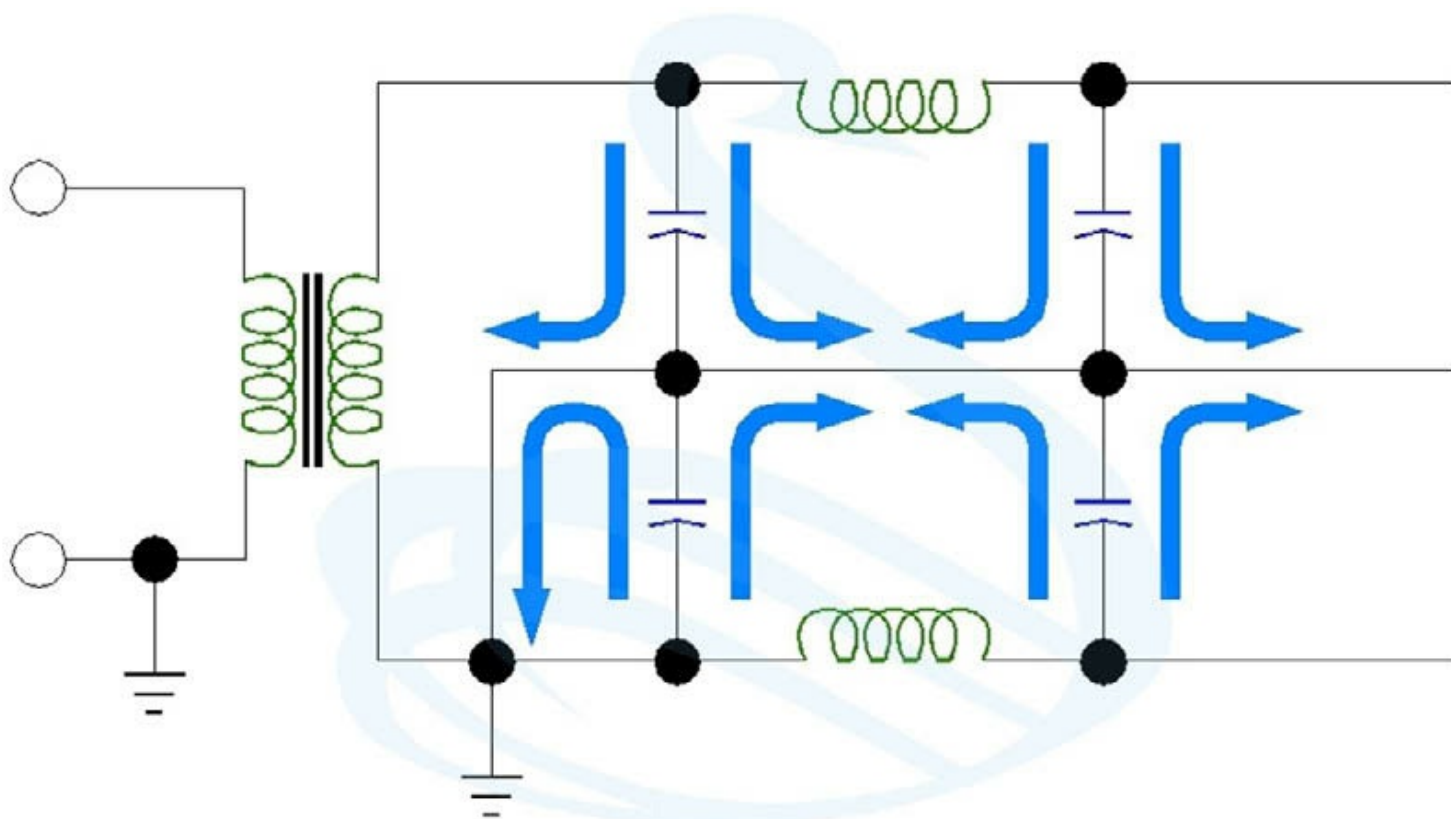


figura 13.44 caminhos de condução de ruído em alimentação convencional, provida de filtro de linha
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Uma das formas muito em moda de utilizar os filtros de linha é como mostra a figura 13.44.

Novamente, as linhas mais grossas indicam os caminhos pelos quais as correntes reativas atingem o condutor de aterramento.

Qual a solução definitiva para isso?

Ela nos é proposta pelo Sr. Martin Glasband, diretor de engenharia e de desenvolvimento de produtos da Equi-Tec.

Com razão, o Sr. Glasband observa que os sistemas de energia monofásicos 110/120 volts, como outros circuitos não balanceados, possuem um condutor de retorno aterrado.

O que de fato cria impedâncias desiguais entre o condutor fase e a terra de um lado, e o condutor neutro e a terra de outro.

A recomendação que segue é balancear o sistema de energia.

O arranjo da figura 13.45 ilustra a ideia básica de um sistema de energia balanceado e aterrado.

Nota-se que o secundário do transformador possui um tap central aterrado.

Embora tal configuração não seja textualmente mencionada no National Electric Code (NEC), inúmeros desses esquemas têm sido instalados nos Estados Unidos, com a aprovação das competentes autoridades locais.

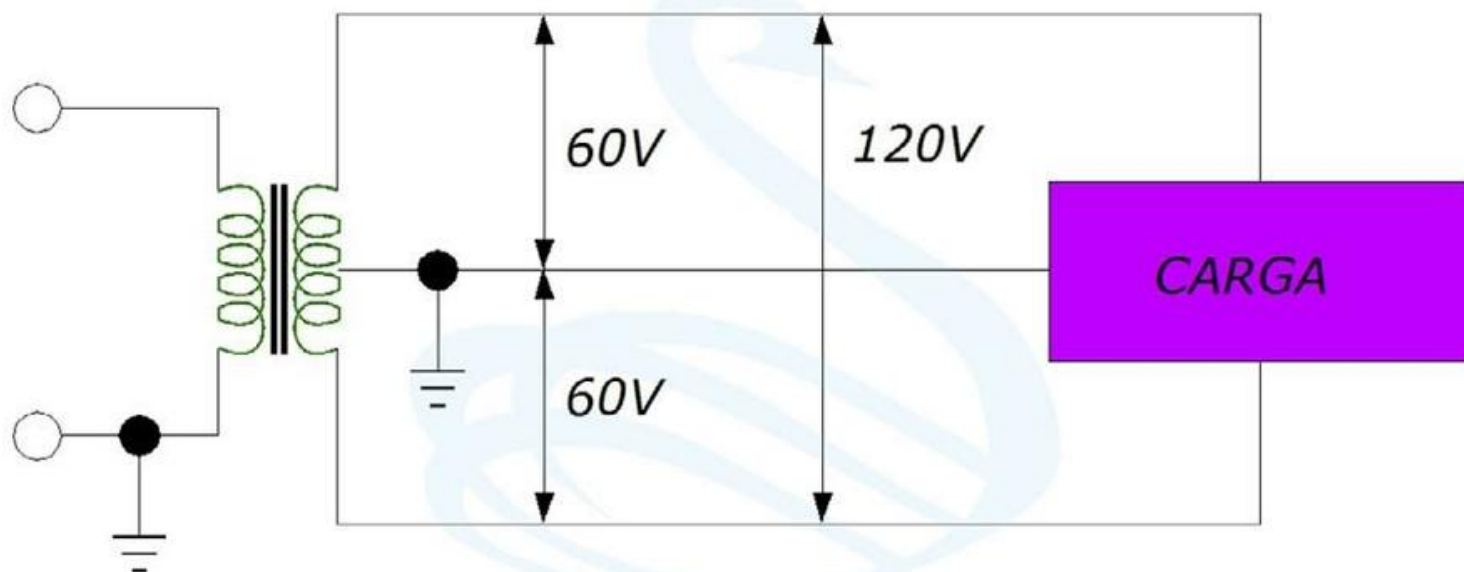


figura 13.45 alternativa de alimentação com linhas balanceadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 13.46 e 13.47 mostram como os ruídos são cancelados num sistema de energia CA balanceado, ou simétrico.

Percebe-se que, nos dois casos, o cancelamento ocorre porque as fases opostas se encontram no condutor terra.

E assim, correntes reativas são canceladas entre si.

Os efeitos disso podem ser observados nos painéis de distribuição de energia, nos quais se constata a ausência praticamente total de ruídos localmente gerados.

O Sr. Glasband informa que os resultados da aplicação prática dessa técnica são realmente surpreendentes.

De acordo com os registros desse especialista, a melhora típica obtida com a aplicação da técnica proposta pode ser bem traduzida ao se mencionar que o aumento médio da relação sinal/ruído medida em inúmeros sistemas, se situa por volta dos 16,0 dB.

Na Cysne Sound Engineering já aplicamos a técnica a vários sistemas que instalamos.

Mas nenhum desses casos se tratava de reforma ou recuperação, e sim de instalações de sistemas novos.

Portanto, não tivemos como comparar as relações sinal/ruído obtidas com o que teria sido a partir de alimentações não balanceadas. Mas em termos de ruídos, os resultados que obtivemos foram excepcionalmente bons.

A aplicação da técnica de balanceamento do sistema de energia independe do consumo do sistema, e de quais ou quantos equipamentos serão energizados.

Tudo o que se precisa é de um transformador de isolação com enrolamento secundário especial, dotado de tap central.

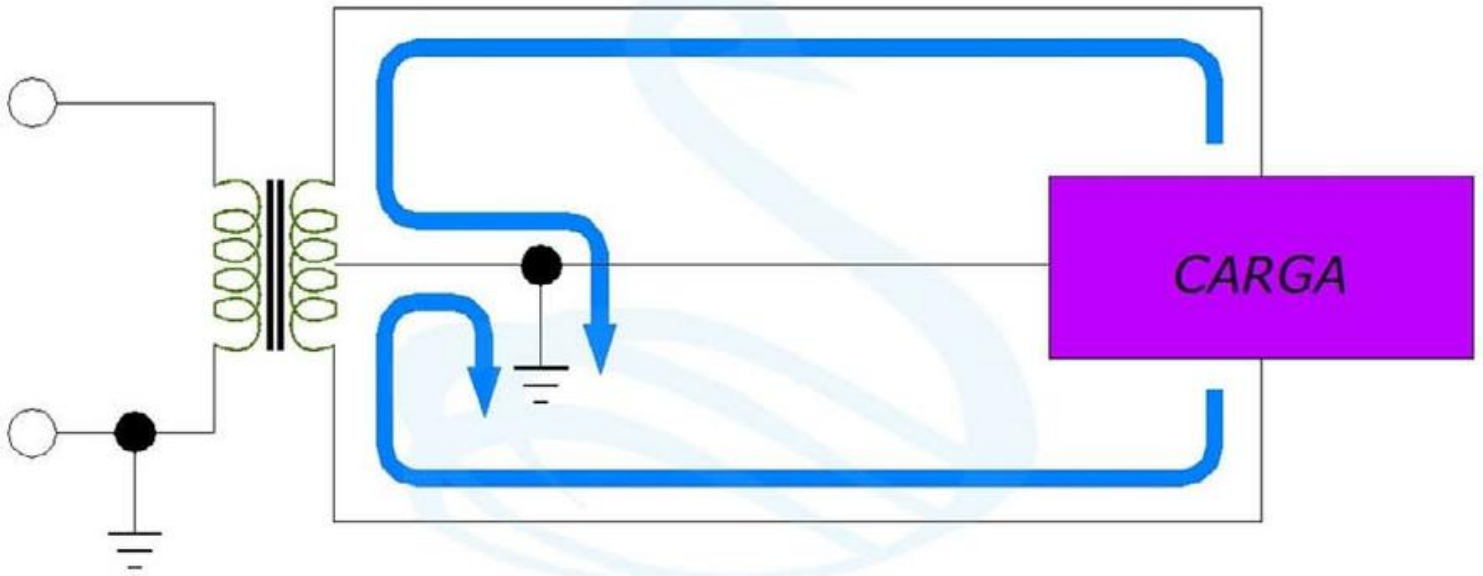


figura 13.46 caminhos de condução de ruído em alimentação com linha balanceada acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

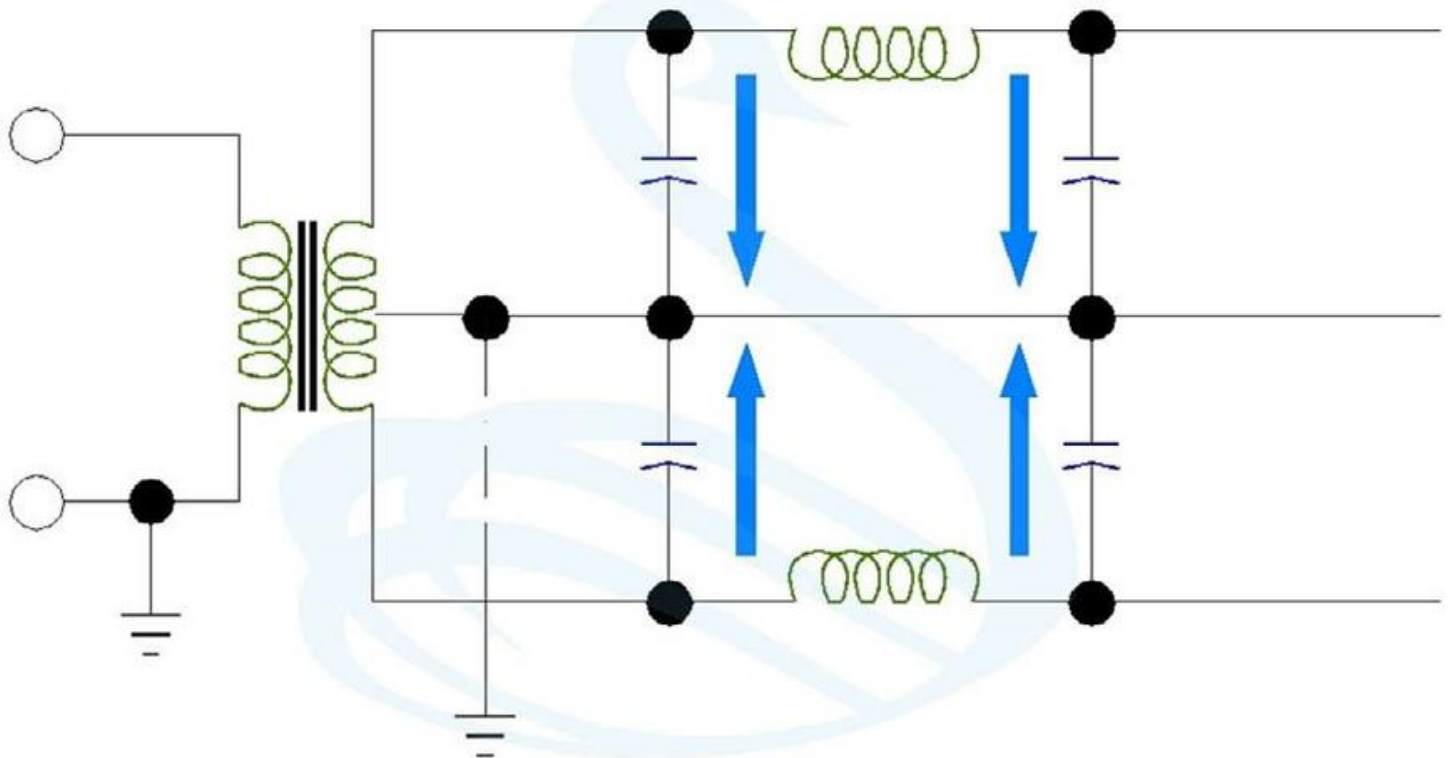


figura 13.47 caminhos de condução de ruído em alimentação com linha balanceada, provida de filtro de linha acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como os das figuras 13.45, 13.46 e 13.47.

Essa é uma maneira eficaz para se obter um aterramento limpo, isento de correntes reativas e harmônicos em geral.

13.12.2 Controle de Cargas Indutivas - Tratamento Local Há algumas maneiras clássicas de controlar as cargas indutivas com efeitos muito pronunciados, capazes de minimizar o ruído radiado e conduzido, além de proteger os próprios contatos das cargas.

Esse controle é geralmente exercido por inclusão de redes de proteção em paralelo com a carga, ou com os contatos, ou com ambos.

Do ponto de vista exclusivo de controle de ruídos, que é nosso caso, é sempre preferível obter o máximo possível de redução de transientes, geralmente com a aplicação das redes diretamente em paralelo com a carga.

Mas sinto que devo advertir. A determinação dos valores dos componentes das redes é difícil, já que, em seus cálculos, o projetista precisa levar em consideração valores geralmente desconhecidos, como a indutância da carga, a capacitância dos cabos de interligação e a velocidade de separação dos contatos.

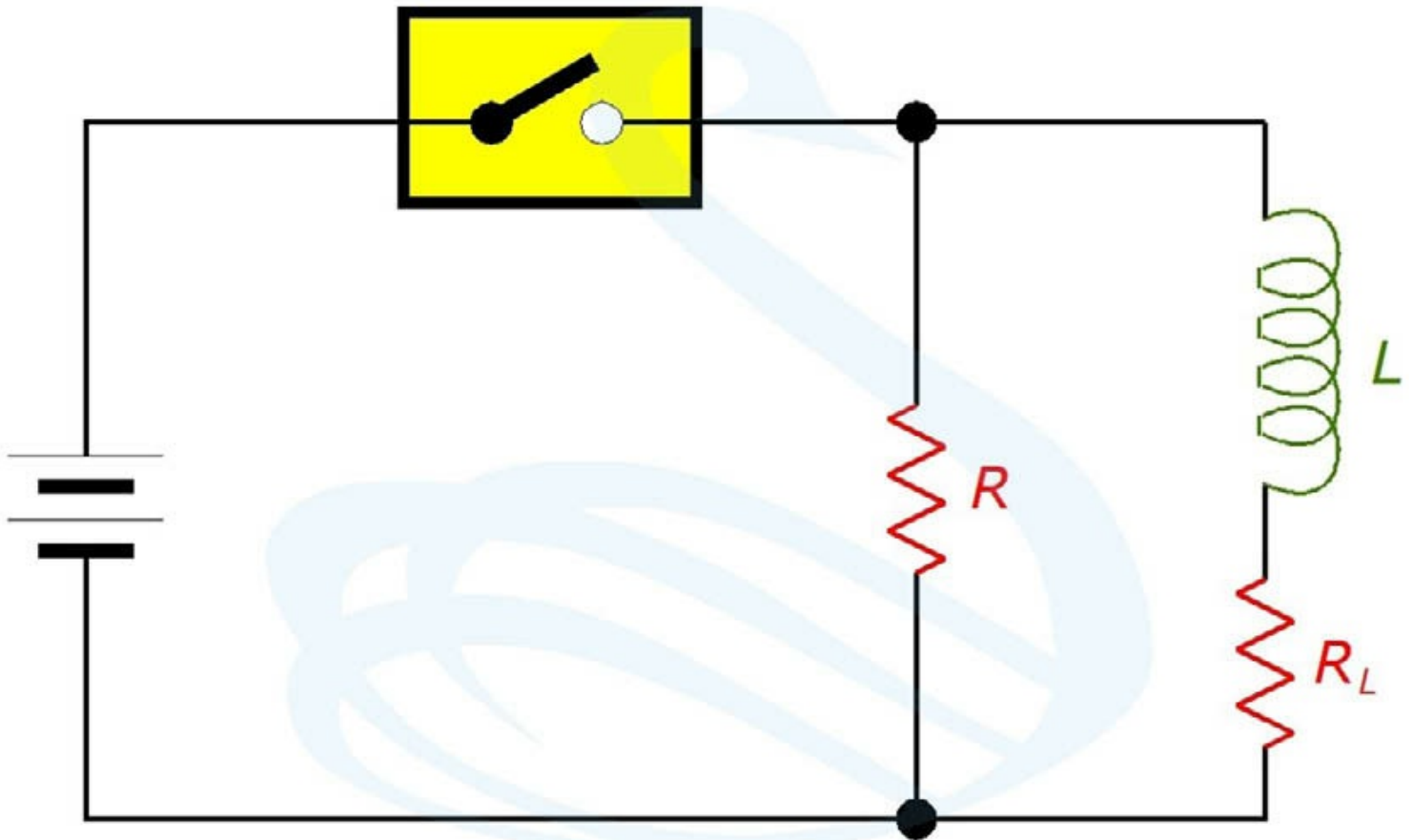


figura 13.48 resistor colocado através de carga indutiva para controle de transientes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Assim, apresento a sugestão de, no caso de se pretender usar quaisquer dessas redes, que sejam feitos testes empíricos com o objetivo de se determinar e comparar as eficiências para diferentes valores de componentes.

As figuras 13.48 a 13.53 mostram 6 redes muito utilizadas. Todas elas podem ser aplicadas tanto às cargas quanto aos contatos.

Na figura 13.48, o resistor é colocado através da carga, representada por um indutor L , e por R_L , sendo esta a resistência própria do indutor.

O objetivo do resistor R é controlar a voltagem transiente gerada quando da abertura dos contatos. De fato, quando estes são abertos, o indutor se encarrega de drenar a corrente que estava fluindo pelo resistor antes da abertura.

Nessas circunstâncias, o pico de voltagem aumenta com o aumento do resistor. Em contrapartida, seu valor fica limitado ao valor de regime da corrente multiplicado pelo valor do resistor.

Se escolhermos R igual a R_L , a voltagem transiente fica limitada à voltagem da fonte de alimentação. Assim, o limite de voltagem sobre os contatos corresponderá à soma da voltagem de alimentação com a voltagem induzida no indutor. Que seria, neste caso, duas vezes a voltagem de alimentação.

A desvantagem dessa proteção, que pode ser empregada para fontes CA e CC, decorre do fato do resistor consumir energia assim que a carga é ligada. Quando R é igual a R_L , o resistor sozinho consome tanto quanto a própria carga.

Na figura 13.49, o resistor é substituído por um varistor. Tudo o que vimos anteriormente para o resistor é aplicável ao varistor. Inclusive no que se refere ao emprego com fontes CA e CC. Desse modo, do ponto de vista de controle de transientes, os dois circuitos de proteção são semelhantes.

A diferença entre os dois circuitos é que, quando a voltagem sobre o varistor é baixa, sua resistência é elevada. E quando a voltagem aumenta, sua resistência diminui. Assim, o circuito com a proteção do varistor apresenta consumo muito inferior ao que tem a proteção do resistor.

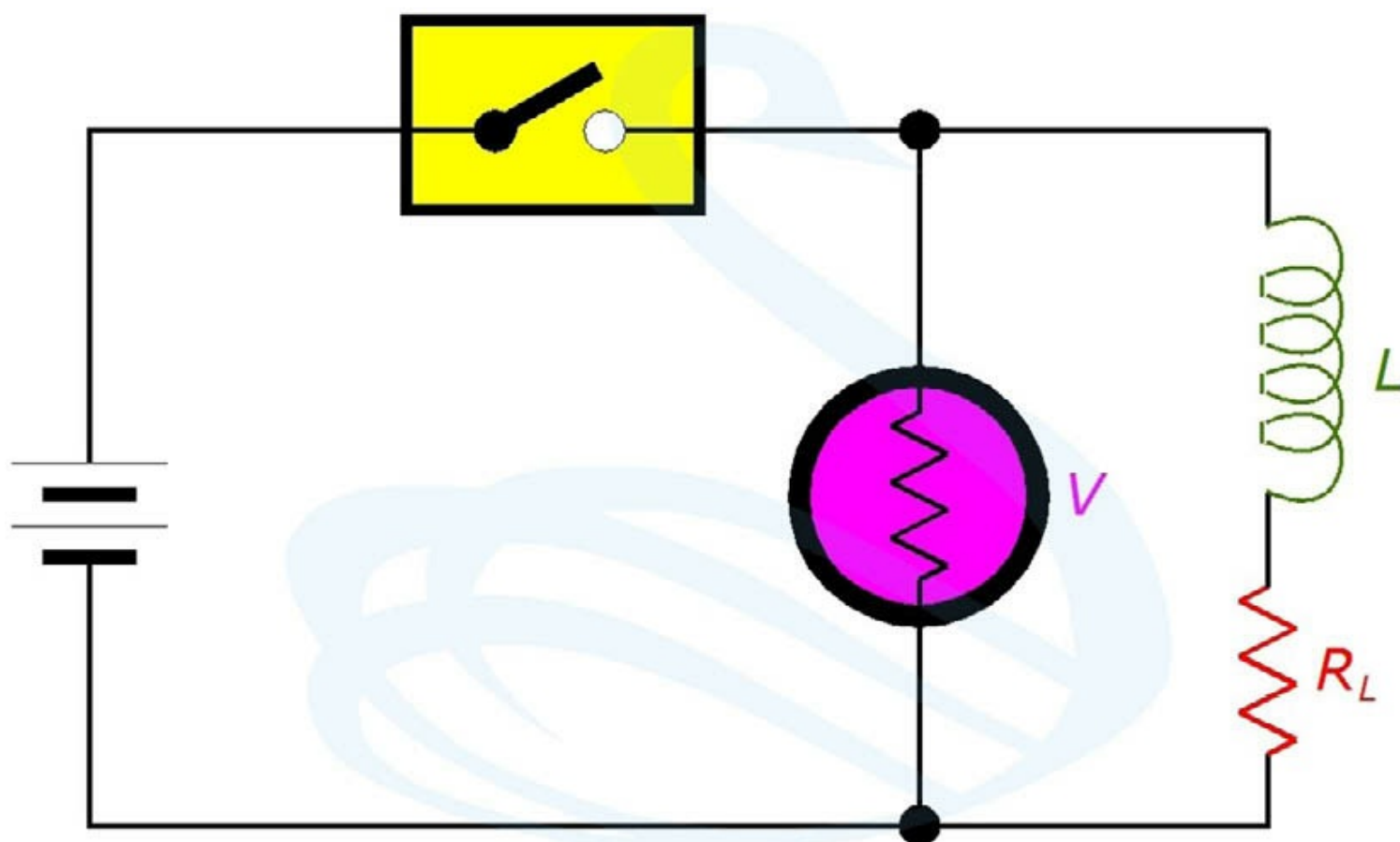


figura 13.49 varistor colocado através de carga indutiva para controle de transientes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

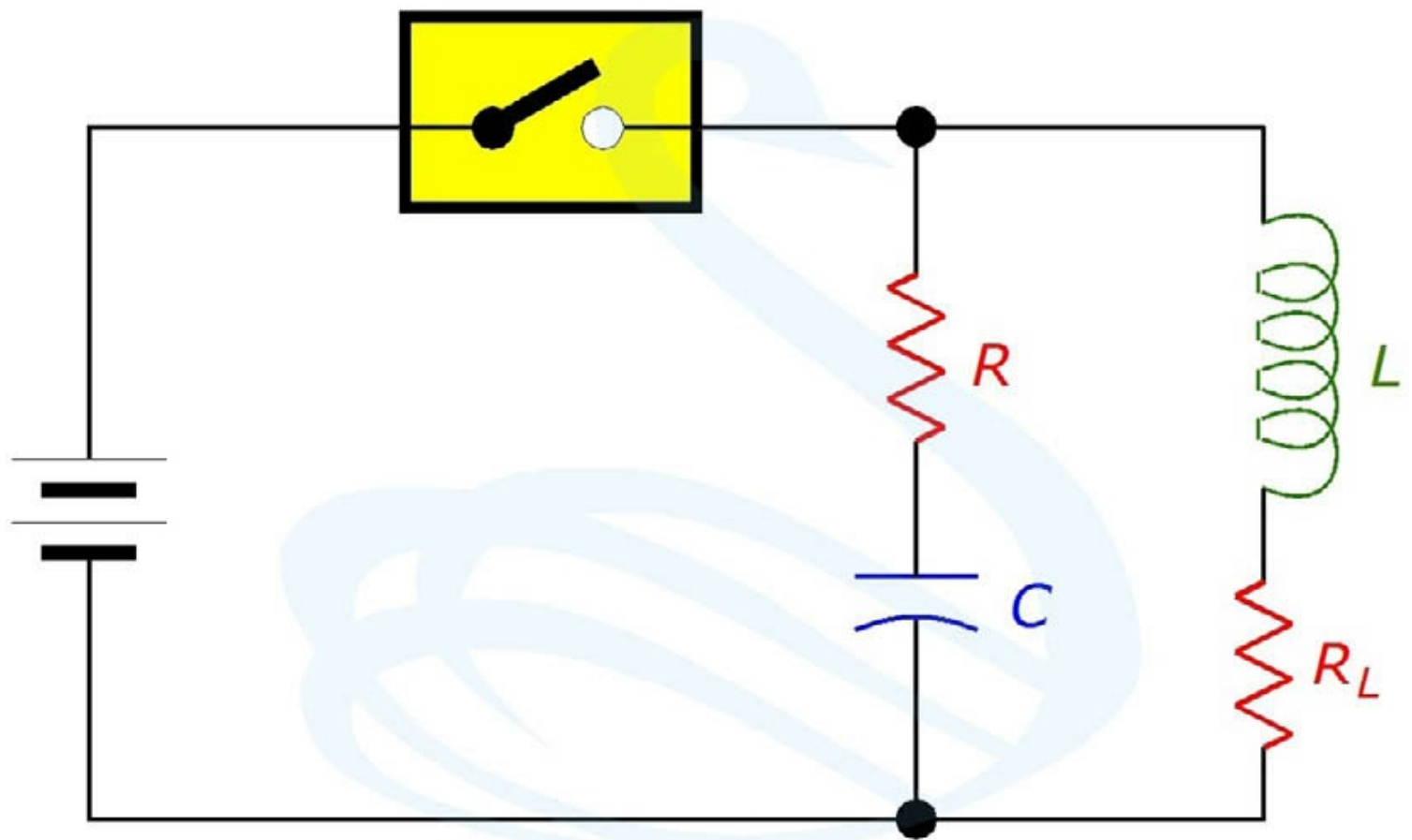


figura 13.50 combinação de resistor com capacitor, colocada através de carga indutiva para controle de transientes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura 13.50 mostra um resistor em série com um capacitor, combinação essa colocada através da carga.

Esse é um arranjo superior aos anteriores. E que também pode trabalhar com fontes de alimentação CA e CC.

Inicialmente, ao contrário das proteções anteriores, esta praticamente não dissipa energia na condição de carga ligada.

Quando o contato é aberto, o capacitor apresenta um comportamento inicial de curto-circuito. Então, o indutor drena sua corrente através do resistor.

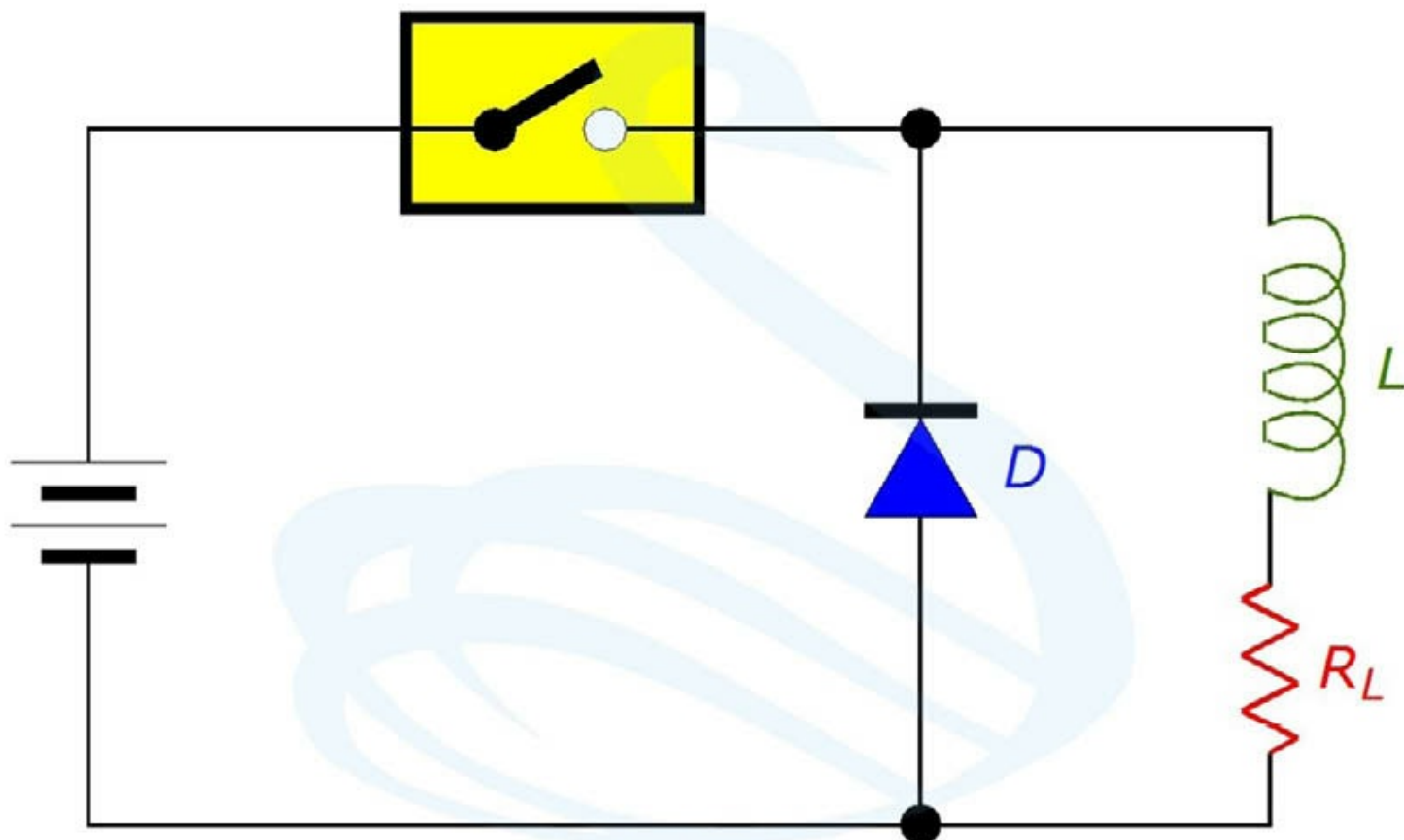


figura 13.51 diodo colocado através de carga indutiva para controle de transientes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura 13.51, o diodo aparece ligado através da carga, de modo que em condições normais de operação não há corrente através dele. É apenas uma questão de polarização.

Logo, esta proteção só é aplicável a casos de fontes de alimentação CC.

Quando o contato é aberto, a voltagem no indutor é de polaridade oposta à da fonte de alimentação. Portanto, uma polarização direta para o diodo. Que assim consegue controlar os transientes, limitando a voltagem no indutor a valores realmente muito baixos.

Com isso, a voltagem sobre os contatos é aproximadamente igual ao valor da voltagem entregue pela fonte de alimentação.

Este circuito é muito eficaz no controle de transientes. Sua desvantagem é que o tempo de queda da voltagem na carga é superior aos de quaisquer das proteções anteriores.

Embora aparentemente sem consequências, isto pode provocar problemas de operação. Por exemplo, se a carga for um relé, seu tempo de desoperação será retardado. O que pode ou não ser aceitável. Uma das formas de contornar o inconveniente é com a colocação de um resistor em série com o diodo. O que restabelece mais velocidade para o tempo de desoperação. Entretanto, às custas de uma queda no controle dos transientes. Ou seja, estamos diante de uma solução de compromisso.

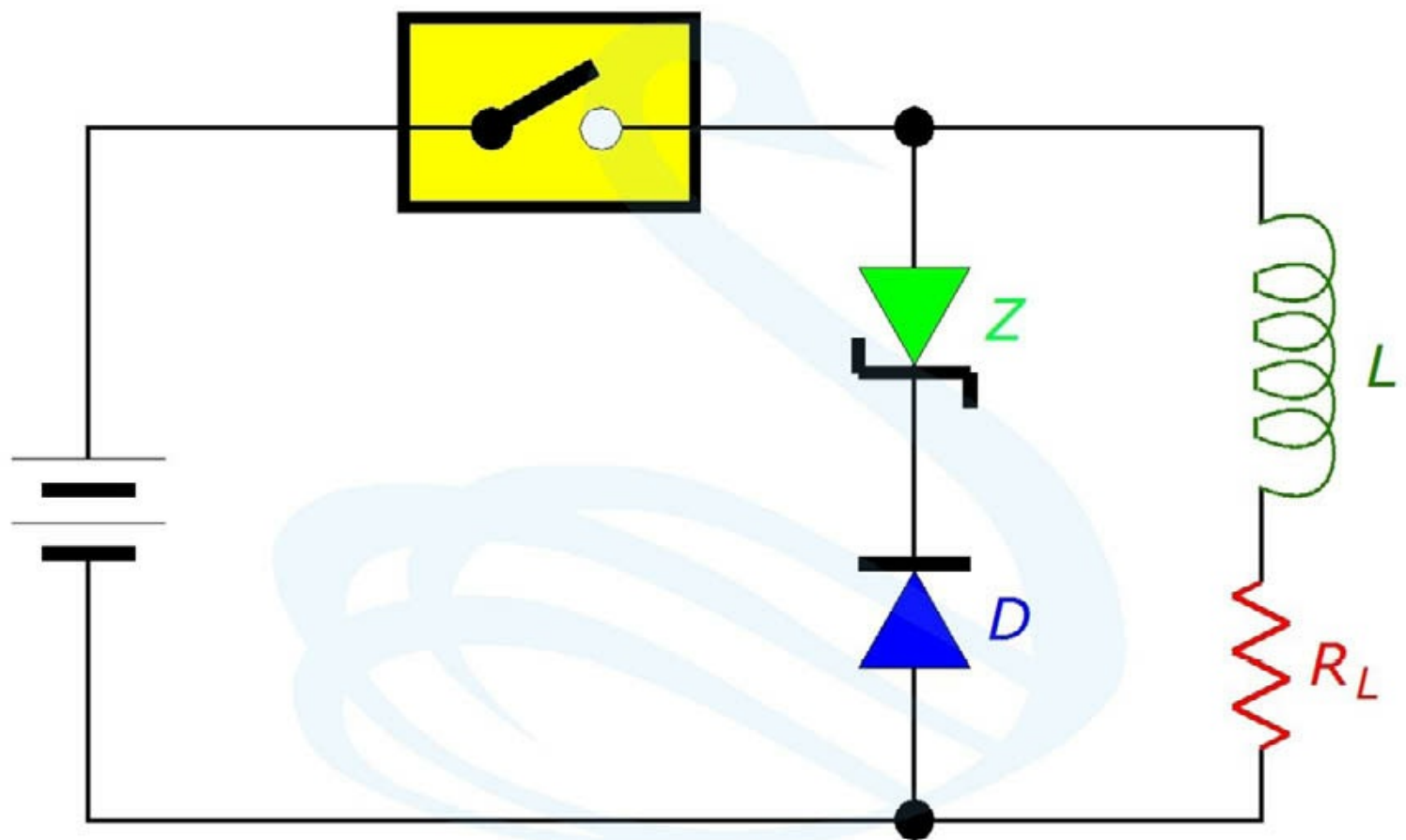


figura 13.52 combinação de diodo com zener, colocada em carga indutiva para controle de transientes
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Evidentemente, a voltagem de trabalho do diodo deve ser superior à da fonte de alimentação. E a corrente que o diodo deve suportar também deve ser superior à corrente máxima exigida pela carga.

A adição de um zener ao diodo, como mostra a figura 13.52, acelera o tempo de queda de voltagem na carga. Mas esta proteção não é tão eficiente quanto a proporcionada apenas pelo diodo. Além disso, há o inconveniente de termos que usar um componente adicional.

Esta proteção também só é aplicável em casos de fontes de alimentação CC.

A versão de proteção com zener para trabalhar com fontes de alimentação CA é aquela da figura 13.53. Os zeners aparecem numa configuração costa-a-costa. A voltagem de ruptura de cada um dos componentes deve ser superior à voltagem da fonte CA, e sua capacidade de corrente também deve superar a corrente máxima exigida pela carga.

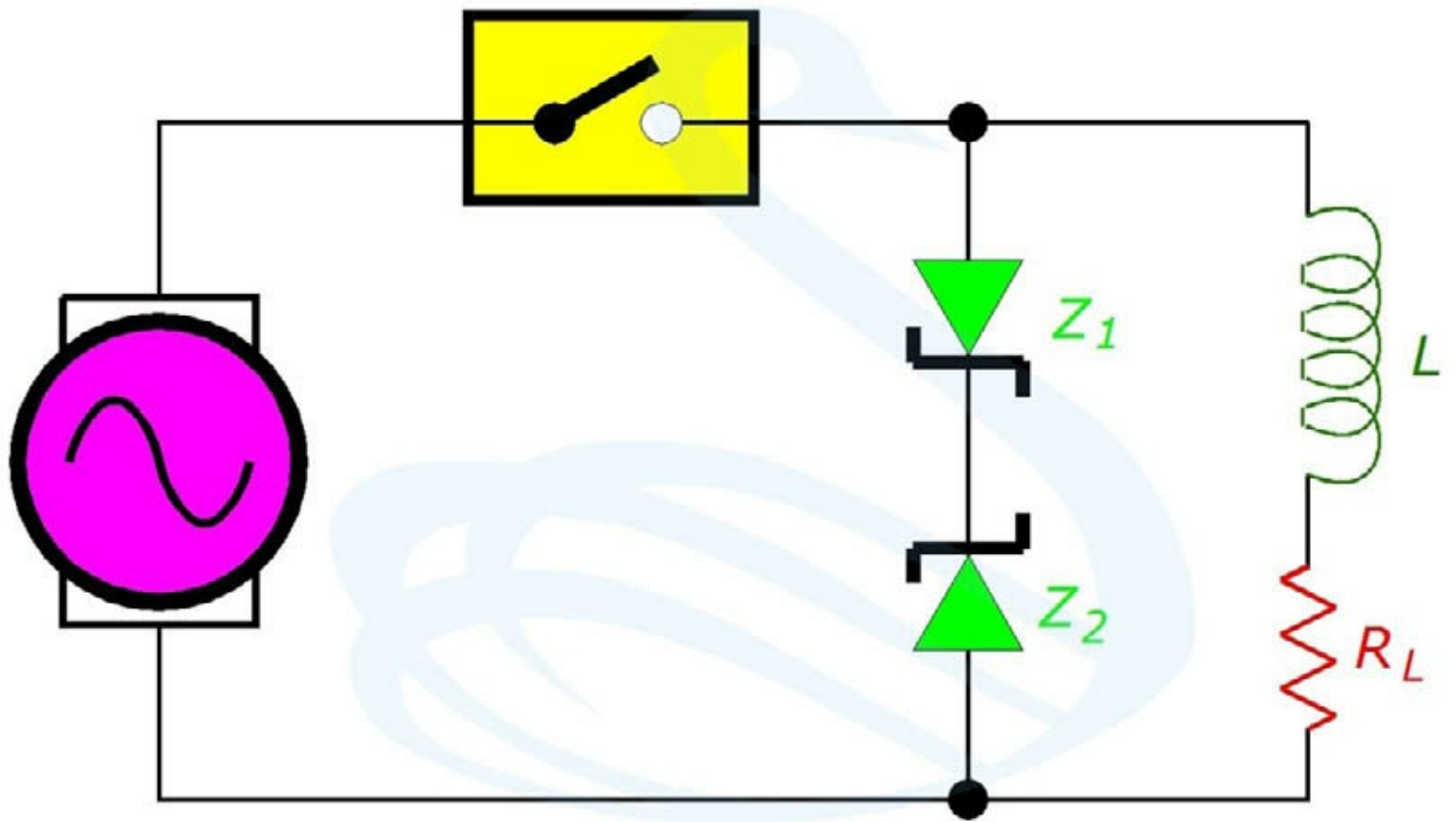


figura 13.53 dois zeners em configuração costa-a-costa, colocados através de carga indutiva para controle de transientes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras 13.54 a 13.56 mostram redes desenvolvidas para uso específico nos contatos.

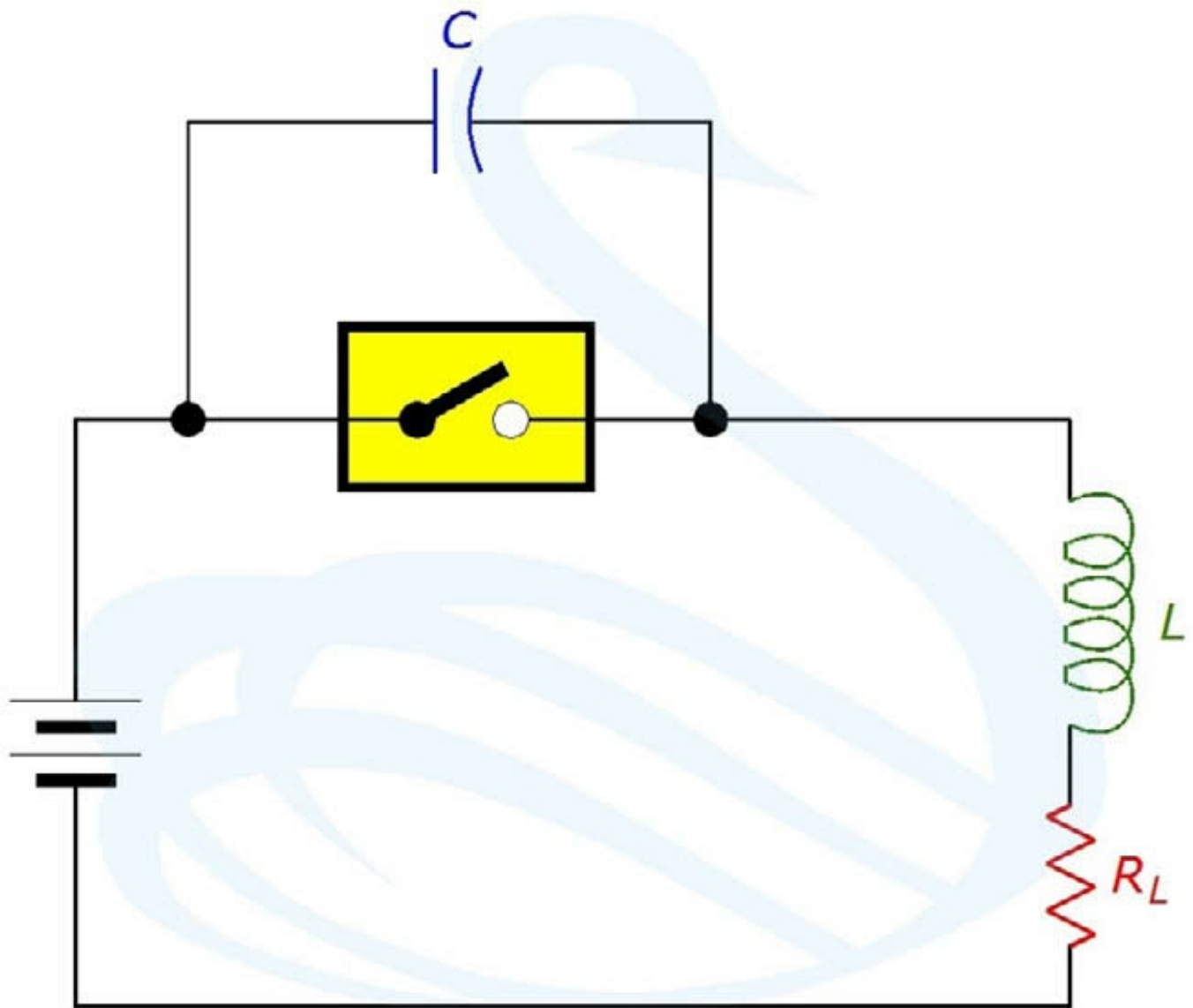


figura 13.54 capacitor colocado em paralelo com os contatos de um circuito, para proteção dos próprios contatos e controle de transientes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O arranjo da figura 13.54 é um dos mais simples utilizados para a supressão de arcos elétricos produzidos pela interrupção brusca de corrente, que ocorre com a abertura do contato.

Trata-se da colocação de um capacitor em paralelo com o contato.

Se o capacitor é de valor suficientemente elevado, a corrente é momentaneamente conduzida por este componente no instante em que o contato é aberto, o que já inibe a formação do arco.

Mas o circuito não é perfeito.

De fato, com o fechamento dos contatos, o capacitor carrega-se até o limite de voltagem da fonte de alimentação.

E quando o contato é novamente fechado, a descarga deve ser integralmente absorvida por ele.

Ajudas só serão provenientes de resistências parasíticas da fiação e do próprio contato.

Quanto mais elevado for o valor do capacitor, e também, quanto mais elevada for a voltagem da fonte de alimentação, mais energia será armazenada pelo capacitor. Consequentemente, maior o estrago provocado pela descarga sobre o contato no momento de

seu fechamento.

Por essa razão, não recomendo o emprego desta forma de proteção.

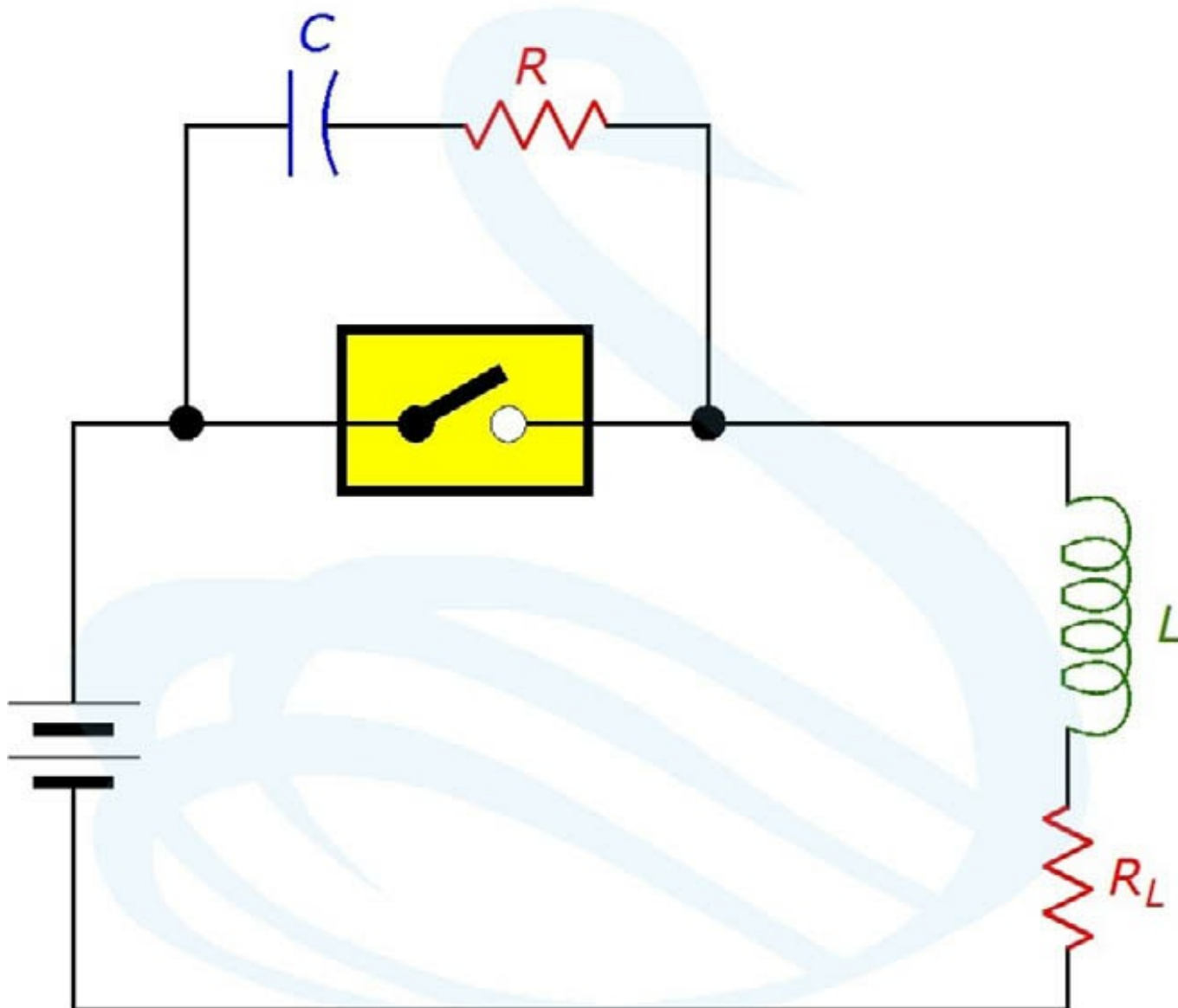


figura 13.55 combinação de capacitor com resistor colocada em paralelo com os contatos de um circuito, para proteção dos próprios contatos e controle de transientes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O arranjo da figura 13.55 é uma das formas de evitar o inconveniente da proteção obtida apenas com o uso de capacitores.

A ideia central é limitar a corrente de descarga do componente, através da colocação de um resistor em série com o capacitor.

Dessa forma, nota-se que, para efeito de fechamento de contato, é desejável que o resistor tenha o valor mais elevado possível.

Por outro lado, uma vez que o resistor reduz a eficácia do capacitor como inibidor de formação de arcos elétricos, quando se pensa na abertura do contato, o desejável é que este valor seja o menor possível.

Na prática, o valor do resistor acaba sendo um meio termo entre esses extremos. Outra solução de compromisso.

Seu valor mínimo é determinado pelas condições de fechamento de contato, de maneira que

a descarga do capacitor não danifique os elementos de contato. E seu valor máximo é uma função da análise das condições de abertura.

Como regra geral, esse valor máximo é da mesma ordem de grandeza que a resistência da carga.

Mesmo com o valor ideal determinado para o resistor, este circuito de proteção ainda apresenta um inconveniente, que é a presença de uma voltagem instantânea no momento da abertura do contato.

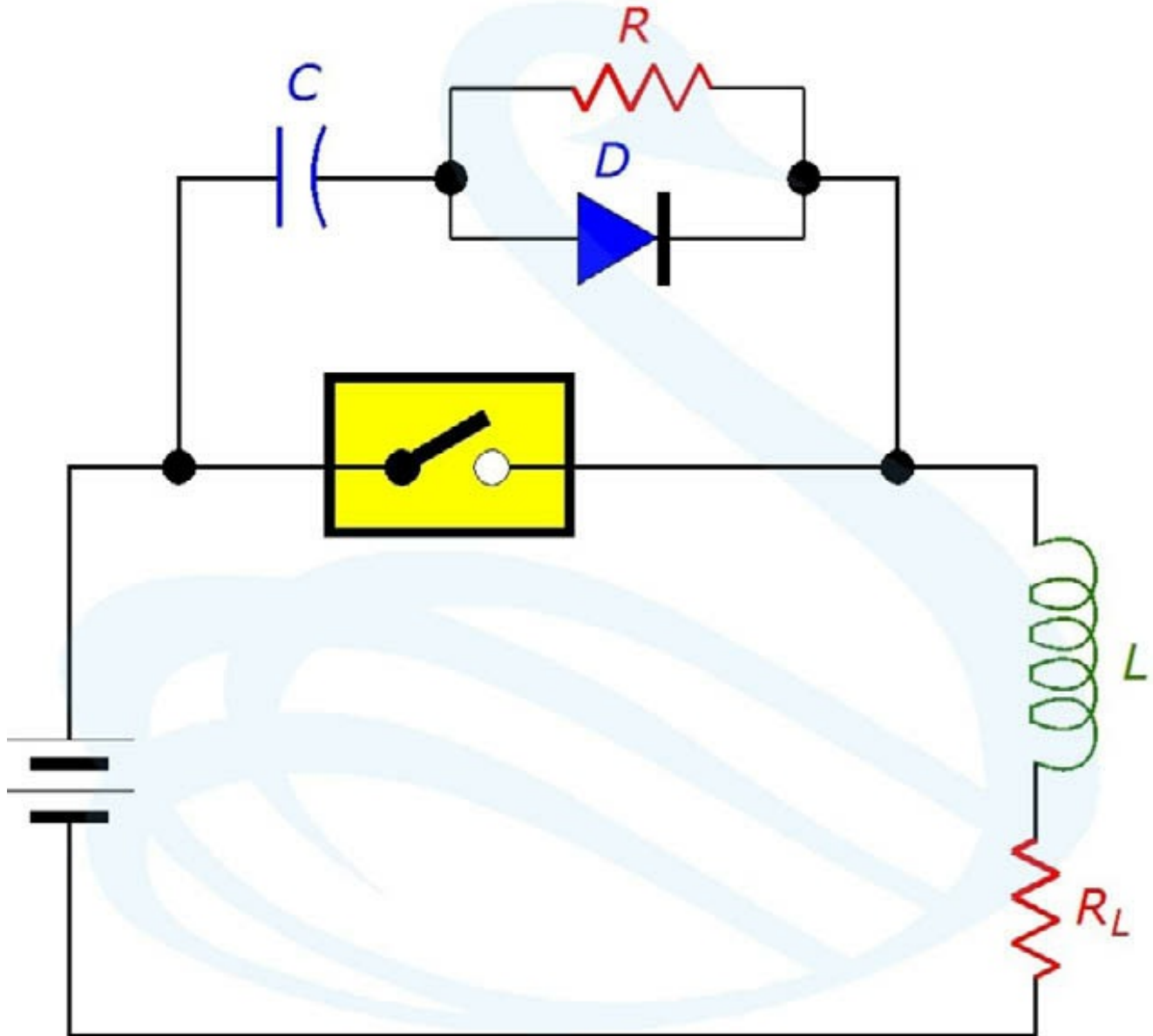


figura 13.56 combinação de capacitor com resistor com diodo, colocada em paralelo com os contatos de um circuito, para proteção dos próprios contatos e controle de transientes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O arranjo da figura 13.56 evita todos os inconvenientes das proteções das figuras 13.54 e 13.55.

Quando o contato é aberto, o capacitor carrega-se até o limite da voltagem da fonte de alimentação, com a polaridade indicada na figura. Quando o contato é fechado, o capacitor descarrega-se através do resistor, que limita a corrente de descarga. Quando o contato é novamente aberto, o diodo curto-circuita o resistor, permitindo que a corrente de carga flua normalmente através do capacitor.

A tensão de ruptura do diodo deve ser superior à tensão da fonte, e sua capacidade de corrente deve ser superior à máxima corrente exigida pela carga.

Uma vez que o diodo curto-circuita o resistor, a solução de compromisso da qual falamos anteriormente não existe neste caso.

O valor do resistor pode ser livremente escolhido para limitar a corrente de descarga do capacitor. E valores elevados podem ser usados.

As redes RCD, como a da figura 13.56, são consideradas as mais eficientes para proteger contatos em geral. Suas desvantagens são a impossibilidade de aplicá-la a fontes de alimentação CA, e o preço, ligeiramente mais elevado que os das configurações anteriores, o que decorre do uso de um componente a mais, o diodo.

13.13 CONSUMO DO SISTEMA

Não teria o menor sentido que pensássemos em detalhes de energia como os discutidos neste capítulo e em outros, e não déssemos a menor importância para o consumo de nossos sistemas. Permanentes ou não.

No caso de projetos de sistemas permanentes, é imperativo que façamos uma relação de todos os aparelhos componentes do sistema, com respectivos consumos de energia. Esses dados constam dos catálogos e folhetos de quaisquer produtos. A relação pode ter a forma de tabela, e pode ainda ser segmentada por tipo de aparelho.

O valor total do consumo, consideradas as piores condições de suprimento, ou seja, a soma dos consumos máximos, e o valor que nos interessa. Seja para 110 volts, seja 220 volts, ou qualquer outro valor de voltagem nominal.

Esse é o consumo que deve ser suprido pelo sistema de energia. E é sempre conveniente usarmos um fator de segurança da ordem de 25%, que também pode servir como reserva técnica.

Os circuitos elétricos que atenderão ao sistema devem ser dimensionados de modo a distribuir a corrente elétrica total consumida pelo sistema em partes equivalentes.

Deve ser considerado ainda que os elementos de proteção devem atender exatamente aos consumos nominais, e àqueles previstos com segurança extra. Ou estariam deixando de proteger na medida do possível.

Por falta de levar em conta os consumos dos aparelhos, que por vezes podem atingir valores significativamente elevados, vários sistemas já deixaram de operar, e até em momentos em que eles eram mais necessários. O pior, esta omissão pode representar perigo de vida e de incêndios.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

capítulo 14 infraestrutura: rede de eletrodutos



Conteúdo do capítulo 14

14. INFRAESTRUTURA, REDE DE ELETRODUTOS

14.1 INTRODUÇÃO

14.2 SEPARAÇÃO POR NÍVEIS

14.3 ENCAMINHAMENTO

14.4 TIPOS DE ELETRODUTOS

14.4.1 Tubos

14.4.2 Eletrocalhas 14.4.3 Esteiras 14.5 PRUMADAS E POÇOS DE ELEVAÇÃO

14.6 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E ESCOLHAS

14.6.1 Eletrodutos 14.6.2 Caixas

14.6.2.1 Caixas de entrada 14.6.2.2 Caixas de Passagem 14.6.2.3 Caixas de Derivação 14.6.2.4 Caixas de Distribuição 14.6.2.5 Caixas de Inspeção 14.6.2.6 Caixas Terminais 14.6.2.7 Caixas Subterrâneas 14.6.2.8 Funções Combinadas 14.6.3 Escolha das Caixas 14.6.3.1 Madeira 14.6.3.2 Metal 14.6.3.3 Plástico e Fibra de Vidro 14.6.3.4 Concreto e Alvenaria 14.7 ASPECTOS CONSTRUTIVOS

14. INFRAESTRUTURA, REDE DE ELETRODUTOS

14.1 INTRODUÇÃO

O resultado final que se obtém ao final da instalação de um sistema profissional de áudio, incluindo-se os aspectos sônico, ausência de ruídos, acabamento, confiabilidade, facilidade de manutenção, e outros, depende bastante de um projeto prévio, e também, de uma certa dose de planejamento e de preparação.

Isso é aplicável com mais ênfase aos sistemas permanentes, e também compreende os cuidados e correção técnica havidos com a infraestrutura, que aliás, ocupa lugar de nítido destaque.

O objetivo deste capítulo é oferecer um mínimo de elementos sobre a infraestrutura apropriada para os sistemas profissionais de áudio, de modo que se possa ter uma ideia das redes de eletrodutos mais adequadas do ponto de vista de controle de ruídos.

As informações aqui contidas são fragmentos especialmente selecionados da Prática Recomendada DPR-IE-002/86, elaborada e publicada pela Cysne Sound Engineering.

Infraestrutura técnica é aquela exclusivamente dedicada a um sistema técnico, no caso, o de áudio.

Portanto, o conjunto de eletrodutos, eletrocalhas, caixas terminais e de passagens, destinadas à passagem dos cabos de interligação, de alto-falantes, e outros.

Esse conjunto deve apresentar requisitos muito bem definidos, sem os quais é possível prever problemas de instalação, com reflexos negativos para o controle de ruídos.

Evidentemente, também é preciso que a rede de eletrodutos seja planejada para atender a todas as necessidades de cada particular sistema.

O projetista experiente sabe que nenhum sistema é definitivo. Que todos eles estão sujeitos a adições eventuais, e “upgradings”. Por isso, sabe também que quando se fala em necessidades de sistema, não se pode pensar numa coisa estática, mas apenas em algo dinâmico, que em princípio tende a acompanhar o ritmo dos avanços tecnológicos.

Em resumo, é imperativo prever uma margem para expansões durante a fase de projeto da rede de eletrodutos.

E há uma ordem natural para a ocorrência das coisas.

Inicialmente, é de todo desejável que o sistema de áudio tenha sido bem projetado, particularmente no que se refere a seleção, bitola e encaminhamento de cabos, além, naturalmente, de sua separação física.

Em quaisquer instalações técnicas os eletrodutos desempenham dupla função, ambas

igualmente importantes.

Uma delas é servir de invólucro permanente para fios e cabos, e como tal, constituindo proteção mecânica para os mesmos. Assim, estes podem ser passados por vias físicas dedicadas e apropriadas, e ampliados ou substituídos sempre que necessário.

A outra função é operar como uma blindagem eletromagnética, de sorte a reduzir tanto quanto possível as influências dos campos elétricos e amenizar os efeitos dos campos magnéticos. Ou seja, oferecer obstáculo para a IEM.

Os eletrodutos são a melhor forma conhecida de abrigar e proteger os cabos de uma instalação técnica, inclusive quanto aos aspectos mecânicos e de imunização contra ruídos.

É óbvio que cabos passados por eletrodutos não estão totalmente protegidos contra a IEM. Entretanto, o grau de proteção também é uma questão de projeto. Como esta é uma forma relativamente pouco explorada de proteção contra os ruídos, não poderíamos deixar de dedicar a ela ao menos algumas linhas.

Nas extremidades dos eletrodutos são instaladas caixas terminais. Onde os cabos começam e/ou terminam.

E caixas de passagem, que também podem reunir as funções de caixas de derivação, de inspeção e de manutenção, devem ser previstas ao longo dos trajetos dos eletrodutos.

As caixas de passagem possibilitam e facilitam a passagem dos fios e cabos pelos eletrodutos, permitindo, ainda, obter sua organização e acabamento técnico. Além disso, é através destas caixas que são executados e racionalizados os serviços de manutenção.

O conjunto de todos os eletrodutos e caixas instalados para atender a um determinado sistema técnico é denominado rede de eletrodutos, ou rede infraestrutural.

Na construção civil, esse termo é usado de forma intercambiável com tubulação seca.

O termo eletroduto é aplicado para designar tubos destinados a conter condutores elétricos, e às vezes, para designar outras vias projetadas para abrigar fios e cabos.

Por isso, de modo a evitar confusão por emprego de termos ambíguos, para efeito deste trabalho o termo eletroduto será sempre utilizado em seu sentido mais amplo. E quaisquer vias projetadas para a passagem de fios e de cabos serão sempre referidas por sua designação específica, como tubos, esteiras, eletrocalhas, *etc.*

14.2 SEPARAÇÃO POR NÍVEIS

Vimos anteriormente que dadas as diferenças de níveis dos sinais de áudio presentes nos cabos de interligação, torna-se imperativo que os cabos portando sinais de níveis semelhantes sejam convenientemente afastados de outros, destinados a portar sinais de níveis superiores, ou inferiores.

O que implica que devem ser previstos eletrodutos distintos para diferentes faixas de níveis de sinal, e que é preciso guardar distâncias convenientes entre os eletrodutos previstos para cada grupo de cabos portando diferentes níveis de sinal.

Para esse efeito, costuma-se dividir os níveis dos sinais em grupos, havendo inúmeras sugestões diferentes. Uma delas, apropriada para esse fim, é o que mostra a tabela 14.1.

tabela 14.1

GRUPO	NÍVEL dBm
fiação de microfone	-80 A -20
fiação de nível de linha	-20 A +30
fiação de alto nível e de falantes	> +30
fiação de energia ca	-
fiação de controle cc	-

Quando os sistemas incluem sinais digitais com informações tipicamente de altas frequências, ou interfaces RS232, RS422 e outras, semelhantes, é sempre mais conveniente considerá-las como um nível à parte.

O mesmo vale para cabos dedicados a transmitir informações de vídeo, e sinais de RF.

14.3 ENCAMINHAMENTO

O encaminhamento dos eletrodutos deve ser estabelecido em função do que é mais conveniente para que os sinais de áudio sigam rotas adequadas e tenham as separações desejadas.

Isto é, o encaminhamento dos sinais de áudio não deve ser condicionado pelo encaminhamento dos eletrodutos. É o contrário.

Por outro lado, nem sempre é possível executar o que é mais conveniente.

Portanto, o encaminhamento final também depende das possibilidades práticas de execução que cada local oferece.

Eletrodutos destinados a conter cabos que portam sinais elétricos com níveis diferentes devem manter afastamentos de pelo menos 1,0 metro entre si.

Um caso especial é o dos eletrodutos destinados aos cabos de microfones, que devem manter afastamentos mínimos de 1,5 metros de quaisquer outros eletrodutos, particularmente dos que se destinam a conter fios e cabos ligados a cargas submetidas a controle eletrônico ou circuitos dimerizados.

Nenhum eletroduto para áudio deve ser projetado nas proximidades de eletrodutos de sistemas de energia, técnicos ou não.

Transformadores e dispositivos com cargas comutadas, e eletrodutos que abrigam seus condutores, devem ficar o mais longe possível dos eletrodutos que atendem ao sistema de áudio.

As rotas traçadas para os eletrodutos devem ser sempre as mais curtas que a situação permitir.

Tal recomendação não é feita apenas por motivos de economia de material, inclusive de fios e de cabos. Mas antes disso, para evitar perdas nos lances físicos, que aumentam com a distância, e ainda, para evitar problemas de IEM, que são tão mais prováveis quanto maiores forem os lances.

O encaminhamento interno de eletrodutos pode ser feito embutido, o que é sempre recomendável, ou aparente.

O encaminhamento externo comporta, além disso, instalações aéreas e subterrâneas.

Instalações externas aéreas são feitas exclusivamente com tubos, sempre suportados por cabos de aço (mensageiro) ou piperacks. Cuidado especial deve ser tomado para que os tubos não corram muito próximos ou paralelos aos cabos de alta voltagem. Lançamentos de cabos aéreos sem tubos devem ser restritos ao mínimo indispensável. Cuidados especiais são requeridos com as escolhas dos tipos de cabos.

Instalações subterrâneas também são feitas exclusivamente com tubos. Estes devem ser

protegidos por um envelopamento de concreto com largura mínima de 40 centímetros, e altura mínima de 30 centímetros. A parte mais elevada do envelopamento fica a 70 centímetros de profundidade. Esse arranjo pode ser usado em quaisquer circunstâncias, inclusive quando há passagem de veículos pesados no nível do solo. Essas tubulações exigem caixas subterrâneas, como discutido adiante.

Esses são os principais critérios para a determinação do encaminhamento dos eletrodutos para sistemas profissionais de áudio.

14.4 TIPOS DE ELETRODUTOS

14.4.1 Tubos Tubos são peças tubulares ocas, fabricadas em plástico ou metal, e disponíveis nos seguintes diâmetros nominais: 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 3 1/2", 4", 5" e 6".

O diâmetro nominal refere-se sempre ao diâmetro interno do tubo. Tubos com diâmetro de 1/2" não devem ser sequer considerados durante o desenvolvimento de quaisquer projetos para sistemas de áudio.

Os tubos plásticos são sempre de PVC ou de polietileno de alta densidade, e os metálicos de alumínio, ferro ou aço. Os de ferro podem ser de ferro cru, esmaltado, com galvanização convencional ou eletrolítica.

Os de aço são disponíveis com ou sem costura.

Além desses, existem tubos flexíveis. Há duas variedades destes. Tubos plásticos, corrugados ou não, e tubos com estruturas metálicas helicoidais, em forma de mola, recobertos ou por material à base de borracha ou por ligas especiais.

Embora menos conhecidos, há também tubos de fibra de vidro, adequados e recomendados para ambientes com atmosferas físicas extremamente agressivas, como as que apresentam elevadas concentrações de vapores ácidos.

Os tubos plásticos e metálicos podem ser dobrados com quaisquer curvas que se possa desejar. Mas também há peças chamadas cotovelos, que são pequenos tubos já dobrados, a partir dos quais as curvas podem ser feitas facilmente.

As curvas dos tubos são caracterizadas por sua deflexão, e para sistemas técnicos em geral, não são permitidas curvas com ângulos inferiores a 90°.

As emendas dos tubos são feitas com luvas. Há luvas com roscas internas e outras, que são simplesmente encaixadas por fora do tubo, e depois fixadas com parafusos.

Esta é a variedade recomendada pela Cysne Sound Engineering, tanto pelo resultado visual limpo e superior que resulta de sua utilização, quanto pela economia que se faz em mão de obra.

14.4.2 Eletrocalhas Eletrocalhas são apenas calhas retangulares destinadas a conter fios e cabos elétricos.

Elas podem ser feitas de perfilados plásticos ou metálicos, ou de metal dobrado, com ou sem tampa. As eletrocalhas metálicas podem ser de folha de flandres, de alumínio, de aço e de ferro. Neste caso, com as mesmas variações disponíveis para os tubos.

Eletrocalhas sem tampa também costumam ser chamadas de bandejas.

As dimensões das eletrocalhas são definidas pela altura e largura da peça, e existem inúmeras dimensões de eletrocalhas disponíveis no mercado.

14.4.3 Esteiras Esteiras são construções metálicas com características mecânicas próprias, destinadas a suportar fios e cabos. São construídas a partir de duas longarinas laterais, transversalmente ligadas a intervalos regulares.

Por isso, elas são fisicamente muito parecidas com os tipos mais simples de escadas.

Dadas estas características, as esteiras permitem a amarração dos fios e dos cabos nas travessas, o que se faz para assegurar a integridade mecânica dos fios e cabos amarrados.

As esteiras podem ser de ferro, também com as mesmas variações disponíveis para os tubos, ou de aço. Existem inúmeros formatos, modelos e tamanhos de esteiras disponíveis no mercado.

Curvas e emendas de eletrocalhas e de esteiras são feitas com ferragens acessórias, fabricadas numa infinidade de formas e variações.

14.5 PRUMADAS E POÇOS DE ELEVAÇÃO

Prumada é o nome técnico dado a um conjunto de eletrodutos e caixas, todos instalados numa mesma vertical, destinados a possibilitar o acesso dos fios e cabos aos pavimentos de prédios com 2 ou mais andares.

Em cada pavimento pode ser instalada uma caixa de passagem para cada tipo de eletroduto, ou grupos de eletrodutos destinados a um mesmo nível de sinal, se necessário.

Quando a caixa de passagem é utilizada apenas para se retirar um ou alguns cabos, passa a ser chamada de caixa de derivação.

Os poços de elevação são apenas uma versão simplificada das prumadas, constituídos de aberturas nas lajes dos andares, sempre próximas a uma parede, e na mesma vertical.

As paredes podem ou não ser providas de pranchas de madeira, e geralmente os eletrodutos e caixas não são usados nesta modalidade simplificada de prumada.

Outro nome dado às prumadas e poços de elevação, especialmente em prédios com muito pavimentos, é shaft.

14.6 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E ESCOLHAS

14.6.1 Eletrodutos A escolha dos eletrodutos para sistemas técnicos é um procedimento direto e objetivo.

Os tubos geralmente são a melhor escolha para sistemas de quaisquer portes.

Para sistemas de porte médio a grande, as opções são o uso de tubos múltiplos, ou

eletrocalhas.

Também é possível usar uma combinação de eletrocalhas para as distribuições principais, com tubos nas distribuições secundárias.

As esteiras ficam reservadas para as instalações de porte muito grande, mas a Cysne Sound Engineering não as recomenda, por sua óbvia falta de proteção contra campos eletromagnéticos.

Evidentemente, esses campos tendem a ser mais intensos exatamente nos sistemas de grande porte, uma vez que outros itens elétricos também tendem a apresentar maior consumo de energia.

Do ponto de vista de controle de ruído, o principal critério a considerar para a escolha do material é sua capacidade de atenuação de campos elétricos e magnéticos.

A tabela 14.2 apresenta as informações pertinentes, separadamente para os campos magnético e elétrico.

Usualmente, a Cysne Sound Engineering recomenda tubos de ferro com galvanização eletrolítica, com as maiores espessuras disponíveis na linha de cada fabricante.

As eletrocalhas recomendadas são sempre de aço ou de ferro com galvanização eletrolítica.

tabela 14.2

ELETROCALHA		ATENUAÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO (60 Hz)		ATENUAÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO (100 kHz)	
TIPO	ESPESSURA	RELAÇÃO	dB	RELAÇÃO	dB
ar livre	-	1:1	0	1:1	0
tubo de alumínio φ 2"	4,0 mm	1,5:1	3,3	2.150:1	66,5
eletrocalha de alumínio chapa # 14	1,5 mm	1,6:1	4,1	15.550:1	83,9
eletrocalha de aço chapa # 16	1,5 mm	3:1	9,4	20.000:1	86,0
eletrocalha de ferro galvanizado chapa # 16	1,5 mm	3,2:1	10,0	22.000:1	86,8
tubo de cobre tipo IPS φ 2"	4,0 mm	3,3:1	10,2	10.750:1	80,6
eletrocalha de alumínio chapa # 16	1,5 mm	4,2:1	11,5	29.000:1	89,6
eletrocalha de aço galvanizado chapa # 14	2,0 mm	6:1	15,5	23.750:1	87,5
eletroduto metálico φ 2"	4,0 mm	6,7:1	16,5	3.350:1	70,5
eletroduto de ferro galvanizado	4,0 mm	40:1	32,0	8.850:1	78,9

fonte: Cysne Science Publishing Co.

A razão destas recomendações prende-se à elevada imunidade contra interferências que caracteriza os materiais recomendados.

Pelo motivo oposto, a Cysne Sound Engineering recomenda que jamais sejam empregados tubos de PVC, sendo a única exceção o caso de instalações subterrâneas.

Nestas, os tubos de PVC de paredes espessas e de grandes diâmetros nominais, nunca inferiores a 2 1/2”, são a melhor opção.

Essa classe de produto, como qualquer outro eletroduto plástico, apresenta imunidade de 0 dB contra os campos magnéticos e elétricos.

tabela 14.3

BITOLA		DIÂMETRO EXTERNO DOS CONDUTORES (mm)							
POLEGADA	mm	2,5	3,2	3,8	4,4	5,1	5,7	6,4	8,3
1/2	12	15	9	6	4	3	3	2	1
3/4	19	26	17	11	8	6	5	3	2
1	24	44	28	19	14	11	8	5	4
1 1/4	32	76	48	33	24	19	15	10	7
1 1/2	38	103	66	45	33	25	20	13	9
2	50	171	110	76	56	42	33	22	16
2 1/2	63	244	156	108	79	61	48	32	23
3	76	376	241	167	123	94	74	49	35
3 1/2	89	504	322	224	164	126	99	66	47
4	100	649	415	288	212	162	128	85	61
5	126	1019	652	453	333	254	201	134	96
6	152	1479	942	654	481	368	290	194	139

fonte: Cysne Science Publishing Co.

Outra recomendação de praxe é que em quaisquer instalações técnicas não sejam utilizados tubos corrugados, metálicos ou plásticos.

O dimensionamento de eletrodutos feito pela Cysne Sound Engineering segue os padrões do NEC - National Electric Code, dos Estados Unidos.

A principal postura desse documento é que a área da seção transversal ocupada de eletroduto não supere 40% de sua área total. Seja ele tubo, eletrocalha ou esteira.

A tabela 14.3 dá uma ideia de alguns casos práticos de ocupação máxima, sendo que a linha superior indica os diâmetros externos dos fios condutores em milímetros, inclusive isolamento, e os números mais escuros indicam as quantidades de condutores que cabem nos eletrodutos, para que a seção transversal ocupada em qualquer caso não ultrapasse 40%.

14.6.2 Caixas As caixas costumam ser classificadas funcionalmente nos seguintes grupos:

14.6.2.1 Caixas de entrada São caixas instaladas nas extremidades iniciais dos eletrodutos. É por elas que os fios e cabos saem dos equipamentos centrais para atingir seus destinos.

Às vezes essas caixas são denominadas **QUADROS**. Geralmente são instalados

conectores no interior das caixas de entrada, ou quadros.

14.6.2.2 Caixas de Passagem Caixas de passagem são aquelas instaladas ao longo do trajeto dos eletrodutos. Sua finalidade é dupla: limitar as distâncias através das quais os cabos devem ser puxados, e evitar curvas, sendo então instaladas nos lugares destas.

14.6.2.3 Caixas de Derivação São caixas geralmente instaladas ao longo do trajeto dos eletrodutos, com a finalidade de que fios e/ou cabos sejam derivados em seu interior. Como no caso das caixas de entrada, estas também abrigam conectores.

14.6.2.4 Caixas de Distribuição As caixas de distribuição, instaladas em quaisquer locais dos eletrodutos, tem a finalidade de abrigar conectores destinados à distribuição de circuitos e à manobra de cabos.

14.6.2.5 Caixas de Inspeção São caixas projetadas para permitir a inspeção periódica de circuitos. Como estes geralmente são jampeados em conectores, os circuitos também podem ser abertos para permitir sua medição nos dois sentidos.

14.6.2.6 Caixas Terminais Ao contrário das caixas de entrada, as caixas terminais são sempre instaladas nas extremidades finais dos eletrodutos. Elas podem ou não conter conectores.

14.6.2.7 Caixas Subterrâneas

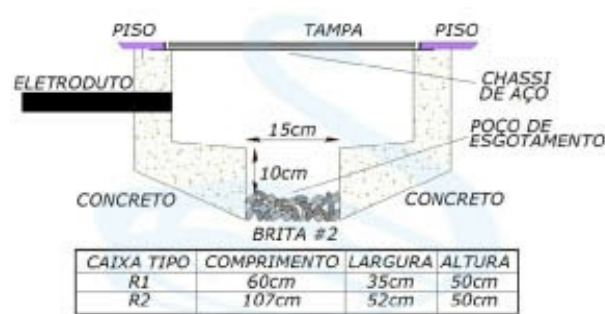


figura 14.1 aspecto geral de uma caixa subterrânea cortesia Cysne Science Publishing Co.

São caixas com quaisquer das finalidades antes mencionadas, instaladas abaixo do nível do solo. Em geral, são caixas de passagem interligando prédios diferentes de uma mesma edificação.

14.6.2.8 Funções Combinadas Algumas caixas podem combinar funções diferentes, a exemplo de caixas de distribuição/inspeção.

14.6.3 Escolha das Caixas De modo geral, a escolha das caixas é mais complexa que a dos eletrodutos.

Mas a separação por níveis de sinais também é aplicável a elas.

14.6.3.1 Madeira A utilização de caixas de madeira é relativamente restrita, em virtude de sua falta de imunidade contra interferências de RF.

Em razão dos níveis elevados dos sinais produzidos pelos amplificadores, elas podem ser usadas como caixas de saída pelas quais passarão fios e cabos provenientes de amplificadores de áudio, destinados a alimentar as caixas acústicas.

Nesses casos, o dimensionamento das caixas de madeira deve ser feito considerando-se que o fundo da caixa conterá blocos tipo borneira de parafusos, como mostra a figura 14.2.



figura 14.2 borneira de parafusos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Cada par de fios de interligação do amplificador ocupa dois contatos. Essa é uma técnica que facilita consideravelmente os serviços de manutenção, já que permite a abertura individual de cada linha para posterior medição de características elétricas, como impedância, continuidade, curto-circuito, etc., em ambos os sentidos.

14.6.3.2 Metal Como regra geral, a Cysne Sound Engineering recomenda o uso de caixas metálicas.

O motivo principal é sua capacidade de evitar interferências de RF.

As caixas metálicas tipo 4"x2" e 4"x4", largamente utilizadas pela indústria da construção civil, só são aceitáveis para suprimento de energia comercial CA em sistemas de porte muito pequeno.

Mesmo assim, sempre a três fios, sendo um fase, outro neutro e outro terra, e ainda, para tomadas de FM e/ou TV. Ou então, para aplicações menos técnicas. Em quaisquer desses casos deve-se dar sempre preferência para as caixas 4"x4".

Para funções de caixas de passagem, quando são usados tubos metálicos, as caixas tipo condutele são a provável melhor opção. Esse tipo de caixa é muitas vezes empregado como caixa de saída, e às vezes até como caixa de entrada.

Seu dimensionamento é extremamente fácil, já que as luvas devem corresponder às bitolas dos eletrodutos empregados. Há também luvas de redução, que se prestam para adaptações de diferentes bitolas de eletrodutos.

Quanto ao tamanho, existem vários padrões de caixas condutele, sendo que um deles é uma espécie de padrão universal. E portanto a mais utilizada. Raramente é preciso usar dimensões maiores que esse padrão universal.

As conduteles fundidas em liga de alumínio, com luvas de fixação por parafusos, são as mais práticas para se trabalhar, e também, a variedade mais comum no mercado.

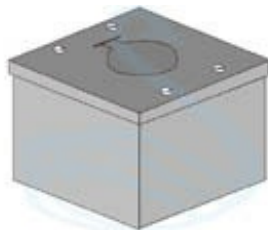


figura 14.3 típica caixa de piso com espelho acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Caixas metálicas para instalação em piso são ideais quando se pretende instalar apenas um ou dois conectores pequenos em cada uma delas. O particular tipo de conector a ser instalado determina não só o tamanho da caixa, mas especialmente sua profundidade, e também, a escolha do espelho a ser especificado.

Há inúmeros fabricantes de caixas metálicas próprias para instalação em piso, em parede, para sobreposição, e para usos especiais.

Estas caixas também são disponíveis numa grande quantidade de formas e tamanhos.

A figura 14.3 mostra uma típica caixa de piso com espelho.

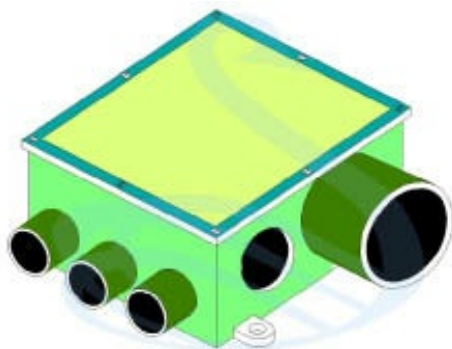


figura 14.4 típica caixa metálica de uso geral acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A escolha do material dos espelhos é uma questão do acabamento desejado e grau de dificuldade que se quer para os serviços de usinagem. Os modelos mais comuns e disponíveis são fabricados em latão, alumínio e aço.

As caixas metálicas de uso geral e de aplicação em telefonia também podem ser utilizadas em praticamente quaisquer instalações internas. A figura 14.4 mostra uma caixa metálica de uso geral, com orelhas para fixação.

Os respectivos dimensionamentos são feitos de forma muito simples, pois os tamanhos das caixas são padronizados.



figura 14.5 caixa metálica especial para instalação de conectores XLR-F de painel cortesia Metalúrgica Santo Ângelo As caixas metálicas especiais já são fabricadas com alguma padronização. Como por exemplo para o caso de conectores XLR-F de painel. A figura 14.5 ilustra uma destas. Usá-las é sempre uma economia de tempo.

Entretanto, também é possível e relativamente simples confeccionar caixas metálicas com quaisquer materiais e dimensões.

O mesmo é aplicável a quaisquer outros tipos de caixas, que podem ser facilmente customizados.

14.6.3.3 Plástico e Fibra de Vidro Caixas plásticas ou de fibra de vidro não blindadas não são recomendadas para aplicações internas. As blindadas são usadas em instalações internas e externas. Seu dimensionamento é feito de acordo com os critérios já descritos.

Em ambientes onde os campos eletromagnéticos são intensos, é possível utilizar caixas plásticas ou de fibra de vidro blindadas, com o interior revestido de chapas metálicas.

A blindagem de Faraday assim construída, e que deve ser aterrada, proporciona muito maior proteção do que sem este revestimento.

14.6.3.4 Concreto e Alvenaria Caixas de concreto e de alvenaria são preferidas para instalações subterrâneas. O dimensionamento destas caixas certamente não oferecerá quaisquer dificuldades, já que a Telebrás definiu tamanhos e modelos padronizados.

Quem se interessar, pode procurar junto à concessionária de serviço telefônico em seu estado os manuais de construção de redes de eletrodutos em prédios. São documentos sérios e detalhados, que contém inúmeras informações sobre infraestrutura. Inclusive sobre as caixas de

concreto e alvenaria para aplicações subterrâneas.

14.7 ASPECTOS CONSTRUTIVOS

Não é nosso objetivo discutir os detalhes construtivos das redes infraestruturas. Entretanto, por sua importância, alguns aspectos devem ser ventilados. Caixas condutele são usualmente instaladas ao nível dos tubos. Não é necessário fixá-las, já que com a correta fixação dos tubos o conjunto estará imobilizado em grau aceitável.

As caixas metálicas para instalação em piso deverão ter seus espelhos nivelados ao rés do piso. Aqui, deve ser observado que muitas vezes poderá ser desejável instalar estas caixas em superfícies verticais, como por exemplo para evitar o acesso de poeira nos contatos dos conectores de microfones.

Nesses casos, os espelhos devem ser nivelados com as superfícies das paredes. A figura 14.6 nos dá uma ideia visual disso. Sempre que possível, os tubos devem ser assentados em linha reta.

Em cada lance de tubo ou de eletrocalha com tampa deve haver no máximo duas curvas de 90°. Caso haja necessidade de mais curvas, é imperativo instalar caixas de passagens para que o limite acima não seja violado.



figura 14.6 caixa instalada ao rés do piso acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A distância mínima entre duas curvas de 90° é 2,0 metros.

Para instalação horizontal aplicam-se os seguintes limites:

trechos sem curvas	máximo de 30,0 metros
trechos com 1 curva	máximo de 24,0 metros
trechos com 2 curvas	máximo de 18,0 metros

Para instalação vertical aplicam-se os limites são:

trechos sem curvas	máximo de 15,0 metros
trechos com 1 curva	máximo de 12,0 metros
trechos com 2 curvas	máximo de 9,0 metros

fonte: Cysne Science Publishing Co.

Esses limites são impostos apenas por uma questão de facilidade para posterior puxamento dos cabos.

Jamais permita que as extremidades dos eletrodutos sejam acabadas sem buchas. Isso é válido para terminações simples, ou em caixas, como mostra a figura 14.7. O desenho ilustra, no detalhe, o acabamento correto, além do alinhamento a ser observado.

A ausência das buchas imporá elevado grau de perigo de que os cabos sejam danificados durante sua instalação.

Já vimos que toda a rede infraestrutural metálica deve ser aterrada. Com esta medida, fica garantido que tubos, eletrocalhas e caixas não só servirão como barreira para campos magnéticos, mas também como barreira para campos elétricos, atenuando assim as interferências de RF.

Uma vez concluída a rede infraestrutural, deve ser passado arame guia pelo interior de cada tubo, às vezes denominado sonda.

Tal providência facilita o puxamento posterior de fios e de cabos. O único arame apropriado para ser usado como guia é o tipo galvanizado, # 16 AWG, com área de seção transversal de 1,3 mm², ou superior.

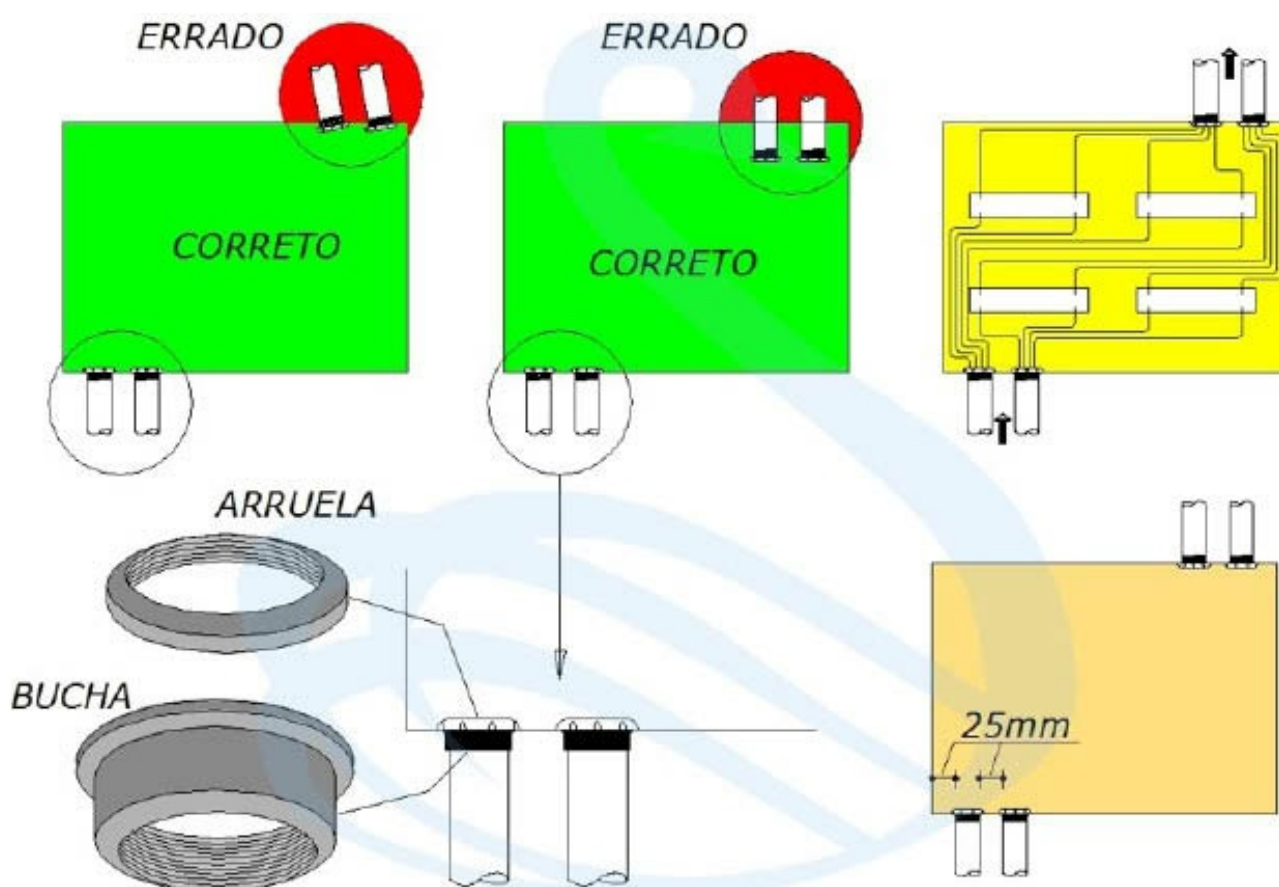


figura 14.7 terminação de eletrodutos em caixas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

apêndice A - glossário



APÊNDICE A - GLOSSÁRIO

abcissa Num sistema de coordenadas retangulares, a distância medida no eixo dos X.

AC

Abreviatura para Alternating Current (Corrente Alternada).

aceleração Taxa de variação da velocidade.

ADSR

Abreviatura para Attack-Decay-Sustain-Release, que são as quatro fases que compõem um típico envelope de qualquer som.

ADT

Abreviatura para Automatic Double Track.

AGC

Termo abreviado para Automatic Gain Control (Controle Automático de Ganho).

algoritmo Uma série de passos discretos de cálculos, concatenados para resolver um problema matemático ou lógico.

alívio de cabo Forma de fixar fisicamente, ou ancorar um ou mais cabos, com o objetivo de prevenir tensões mecânicas aplicadas aos conectores.

alívio mecânico O mesmo que alívio de cabo.

amortecimento Redução da ação de um circuito, dispositivo ou sistema, por perda desejada ou não de energia.

amplificação Termo genérico usado para designar o aumento de uma grandeza. Especialmente aplicável ao processo de aumento de amplitude dos sinais de áudio por ação de dispositivos e elementos ativos.

amplificador controlado por voltagem Amplificador ou estágio de amplificação, cujo ganho é governado por uma voltagem de controle. Geralmente uma voltagem de polarização CC.

amplificador de vídeo Amplificador capaz de amplificar sinais com banda muito larga, projetado exclusivamente para amplificar sinais de vídeo, cujo espectro ocupa tipicamente alguns megahertz.

amplificador paramétrico Amplificador que emprega um ou mais varactores.

analisador TEF

Instrumento de medição especialmente desenvolvido para uso em eletroacústica, baseado em EAT (Espectrometria por Atraso de Tempo), capaz de analisar praticamente quaisquer funções eletroacústicas, além de muitas do domínio da eletrônica.

anodo Polo ou elemento positivo.

Terminal positivo de pilhas e baterias.

Eletrodo através do qual a corrente elétrica penetra em condutores de classe não metálica.

Eletrodo através do qual a corrente elétrica penetra em tiristores, quando o estado do dispositivo é “on”, e a porta do circuito está aberta.

Em semicondutores e elementos retificadores, eletrodo através do qual a corrente elétrica escoia para o exterior.

Eletrodo utilizado para drenar corrente elétrica de um meio considerado.

Eletrodo para o qual flui uma corrente principal de elétrons.

antinó Ponto de máxima que resulta da combinação de ondas sonoras num espaço fechado. Também é o ponto de máxima de uma onda estacionária. O mesmo que ventre, e que ventre de máxima.

área de pistonagem A área efetiva do cone de um alto-falante convencional que movimenta a massa de ar que está na frente e atrás do transdutor.

arremesso Termo utilizado para classificar as cornetas acústicas quanto à sua capacidade de projetar sons em função da distância.

ASC II Código de oito bits, sendo um de cheque de paridade, desenvolvido pela American Standard Association. Utilizado por máquinas síncronas e assíncronas. Com esse código, é possível gerar cento e vinte e oito combinações diferentes.

ataque A primeira fase do envelope natural de um som. Inicia no momento exato em que o som passa a ser produzido, e prossegue até que ele atinja sua magnitude máxima. Também é o termo que descreve um dos parâmetros de alguns processadores de sinal, a exemplo de compressores e de noise gates.

atenuação Redução da intensidade de um sinal elétrico ou fenômeno vibratório.

Atenuador de Perda Mínima Atenuador, geralmente formado por um só resistor, que deve seu nome à propriedade de atenuar o mínimo que é possível sem provocar alterações substanciais de parâmetros da fonte ou da carga.

atraso natural do ambiente Num ambiente fechado, é o intervalo decorrido entre a referência, tomada como o instante em que o som é produzido, e a reflexão que caracteriza um ponto de nítida inflexão no padrão de reverberação do local. Abreviadamente, D_N .

attack Ver ataque.

automatic double track Efeito próprio de processadores digitais de efeitos, obtido com a soma do sinal direto com um componente atrasado entre 15 e 35 milissegundos. O resultado sonico do efeito é trazer um pouco mais de corpo para vozes e instrumentos.

avisos Mensagens pré gravadas ou anunciadas ao vivo através de sistemas especiais de áudio, projetados para distribuir avisos e chamadas em grandes edificações, como shopping

centers, centros comerciais, indústrias, e outros.

banda de frequências Segmento do espectro de frequências, limitado inferiormente por uma frequência menor, e superiormente, por outra, maior.

banda crítica

A largura de banda dos filtros do ouvido humano, que corresponde a aproximadamente 17% da frequência central para a qual o filtro está “sintonizado”.

banda passante Espectro de frequências que um aparelho ou filtro permitem passar sem impor perda superior a um valor preestabelecido, usualmente 3,0 dB.

banda passante Gaussiana Banda passante cujo gráfica amplitude versus frequência apresenta distribuição que se coaduna com a lei das probabilidades proposta por Karl F. Gauss. Ver curva Gaussiana.

blindagem de Faraday Blindagem metálica, condutiva e isolada, também chamada blindagem eletrostática, que separa os enrolamentos de um transformador. Para que opere com eficiência, deve ser ligada à terra através de um condutor dedicado.

bobina híbrida Transformador de três enrolamentos, com tomadas, empregado em telefonia para converter um circuito de quatro fios noutro, de dois fios, ou vice-versa.

bolha de nível Dispositivo com invólucro de vidro, no interior do qual há água e uma pequena bolha de ar. O conjunto é montado numa régua ou esquadro, e sua função é indicar o grau de horizontalidade de uma superfície.

booster Amplificador de voltagem projetado para compensar perdas por inserção impostas nos circuitos por quaisquer motivos.

bridge amplifier Amplificador com elevada impedância de entrada. Com isso, ele pode ser ligado a qualquer circuito (bridging) sem afetar-lhe substancialmente os parâmetros, como o nível dos sinais em curso.

bridger Estágio de amplificador caracterizado por sua baixa impedância de saída, podendo, assim, energizar uma carga com baixa impedância de entrada, ou várias cargas com altas impedâncias de entrada, ligadas em paralelo.

buffer Circuito, geralmente empregando um ou mais elementos ativos, capaz de proporcionar isolamento elétrica entre dois pontos de um circuito.

bypassar Circundar um circuito ou aparelho, deixando-o temporariamente fora da cadeia.

Ligar em paralelo um capacitor de pequeno valor com um resistor ou capacitor de maior capacitância, de modo a proporcionar um caminho de menor impedância para determinados tipos de ruídos.

CA Abreviatura para Corrente Alternada.

cadeia lateral Circuito auxiliar de controle de processadores de sinal, especialmente

compressores e noise gates. Tais circuitos possibilitam que os sinais de controle, que fazem o processador atuar, sejam diferentes dos sinais que serão realmente submetidos ao processamento.

CAG

Abreviatura para Controle Automático de Ganho.

câmara anecóica Literalmente falando, significa um compartimento físico sem qualquer eco, reflexão de sons, ou reverberação.

campo de som O campo resultante de uma onda sonora.

campo direto Campo de som resultante exclusivamente do sinal direto produzido pela fonte, sem quaisquer contribuições dadas por reflexões.

campo livre Espaço que não impõe reflexões a um campo de som.

campo próximo Campo de som fisicamente muito próximo da fonte que o produz. Caracterizado pela velocidade das partículas, que não segue rigorosamente a direção da propagação.

campo remoto Campo de som suficientemente afastado da fonte de som, onde prevalece a lei dos inversos dos quadrados.

campo reverberante Campo de som exclusivamente devido às reflexões do som nas superfícies de um ambiente.

campo total A somas dos campos direto mais reverberante.

cancelamento de fase Cancelamento que ocorre quando duas fases opostas se somam. O efeito pode ocorrer no domínio elétrico, no da acústica, e em outros.

carga Qualquer aparelho cuja entrada é ligada na saída de outro. Assim, a entrada de um mixer é a carga para o microfone, e a caixa acústica é a carga para o amplificador.

catodo Polo ou elemento negativo.

Terminal negativo de pilhas e baterias.

Em semicondutores e elementos retificadores, é o eletrodo através do qual a corrente elétrica escoar para o interior.

Eletrodo utilizado para injetar corrente elétrica num meio considerado.

Eletrodo considerado a fonte primária de uma corrente elétrica.

CC

Abreviatura para Corrente Contínua.

CGS

Sistema de unidades no qual são as unidades de comprimento, de massa e de tempo são o centímetro, a grama e o segundo, respectivamente.

chamadas Mensagens para localização de pessoas, anunciadas ao vivo através de sistemas especiais de áudio, projetados para distribuir avisos e chamadas em grandes edificações, como shopping centers, centros comerciais, indústrias, e outros.

chicote Grupo de cabos tratados como um todo, e que percorrem um determinado caminho, usualmente amarrados para formar um elemento único.

clipper amplifier Sinônimo de limitador.

CMRR

Abreviatura para Common Mode Rejection Ratio (Relação de Rejeição de Modo Comum).

cobertura nominal Representada por ângulos, é o setor de um plano no qual o nível de pressão sonora de um alto-falante ou corneta acústica, medido na mesma distância que no eixo de maior irradiação, cai 6,0 dB. Costuma-se usar os termos cobertura horizontal e cobertura vertical, respectivamente aplicados aos planos horizontal e vertical.

Coeficiente de Relação Cruzada Interaural Fator que indica o grau de dissimilaridade dos sons musicais que atingem nossos dois ouvidos. Quanto menos similares são os sons interaurais, menor é o coeficiente (e maior o valor da LAF).

coloração tonal A falta de balanço relativo como percebida entre os tons de baixas, médias e altas frequências.

Pode ser consequência de um ou mais aparelhos, que registram suas “assinaturas tonais”, ou das características acústicas de uma sala, ou ainda, o efeito combinado de ambos.

compliância A medida da propriedade física da flexibilidade, ou efeito mola.

A recíproca de grau de dureza.

Medida do deslocamento da ponta de uma agulha fonográfica, quando uma força conhecida é aplicada. Geralmente expressa em centímetros por dinas.

Num alto-falante, é o equivalente acústico e mecânico da capacitância.

condutor 0VA Condutor referência num circuito de áudio, sendo que o termo 0VA refere-se a Zero Volts de Áudio.

controle automático de ganho Dispositivo eletrônico projetado para manter relativamente constante o nível dos sinais de saída de um circuito ou aparelho, independentemente de eventuais variações de nível dos sinais de entrada.

coordenadas retangulares Representação gráfica, geralmente bidimensional, que utiliza duas retas perpendiculares, denominadas eixo dos X (reta horizontal) e eixo dos Y (reta vertical).

cordão de patchbay Cabo terminado com dois plugues PAM ou PM, que permite interligar dois jaques num patchbay, ou mesmo dois jaques em patchbays diferentes.

corrente elétrica Movimento de cargas elétricas num dado meio, ou qualquer fenômeno físico cujos efeitos são equivalentes aos produzidos por esse movimento.

corte recomendado Termo aplicável aos drivers de compressão, e também aos conjuntos cornetas-drivers de compressão. Refere-se a menor frequência recomendada para aquele driver ou conjunto driver-corneta. A finalidade é proteger o dispositivo de danos permanentes provocados pelo elevado grau de energia usualmente associado às baixas frequências.

CRCI Abreviatura para Coeficiente de Relação Cruzada Interaural.

curva de frequência O mesmo que curva Gaussiana.

curva de probabilidade O mesmo que curva Gaussiana.

curva Gaussiana O nome dado à curva com formato de sino, do gênero ilustrado na figura A.1.

Esta curva foi inicialmente proposta por Abraham de Moivre, e posteriormente elaborada por P. S. Laplace e por Karl F. Gauss.

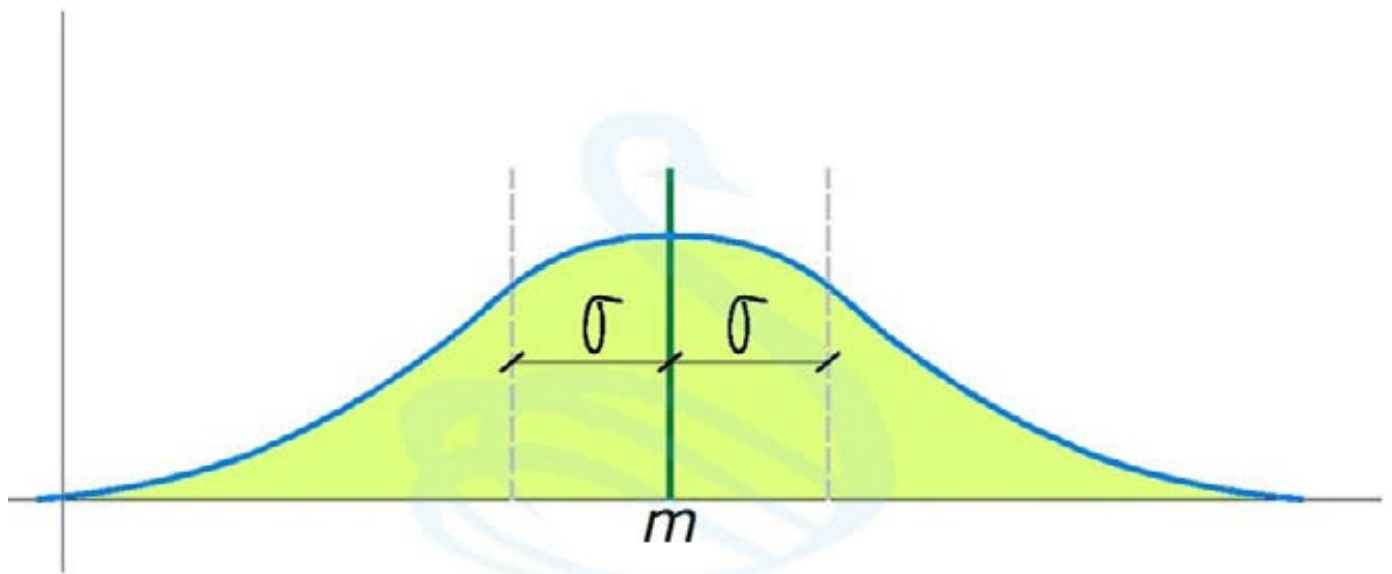


figura A.1 Curva Gaussiana acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A curva Gaussiana é parte integrante do domínio da probabilidade matemática. Mais especificamente, é uma função denominada densidade normal, ou distribuição de Gauss. É definida pela equação

$$Y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-1/2(x-\mu)^2/\sigma^2}$$

Sendo que σ e μ representam as figuras estatísticas “desvio padrão” e “média”, respectivamente.

curva normal de erros O mesmo que curva Gaussiana.

customizado Confeccionado, produzido ou feito especialmente para uma determinada aplicação. Geralmente um produto, aparelho ou acessório.

DAT

Abreviatura para Digital Audio Tape.

DC

Abreviatura para Direct Current (Corrente Contínua).

década Intervalo entre duas quantidades quaisquer, que guardem entre si uma relação de 10:1.

decay Queda.

definição horizontal Termo aplicado no sentido musical, e que se refere ao grau com que os sons seguem sucessivamente uns aos outros.

definição vertical Termo aplicado no sentido musical, e que se refere ao grau de separação que podemos perceber entre sons que são executados simultaneamente.

delay Literalmente, significa atraso. Em áudio, significa o atraso deliberadamente imposto a um sinal eletrônico, com a finalidade de fazê-lo chegar a um determinado ponto num momento após ao que chegaria sem o atraso, de modo que o sinal atrasado seja ouvido simultaneamente, ou quase, com outro sinal que tenha um atraso natural, resultante de sua propagação até aquele mesmo ponto.

Também é o termo que caracteriza o tempo natural de viagem dos sons através do ar.

O delay também pode ser imposto a um ou mais canais de programas estereofônicos, com o objetivo de definir a direção da fonte sonora.

demodulação Quaisquer dos processos utilizados para recuperação das informações contidas numa onda modulada.

densidade de reflexões Medida da concentração de reflexões que se verifica numa sala, geralmente por unidade de tempo.

desigualdade

Relação da forma $N > 10$. Os significados dos principais símbolos utilizados nas desigualdades matemáticas são: $>$ maior do que $<$ menor do que $\geq$ igual ou maior do que $\leq$ igual ou menor do que $\neq$ diferente de **diafonia** Transmissão indesejável de energia de um ou mais condutores elétricos, chamados interferentes, em um ou mais condutores elétricos, chamados interferidos.

digital audio tape (DAT) Sistema magnético de gravação, semelhante a um sistema cassete, no qual as informações gravadas em fita são digitalizadas. Usa uma pequena cabeça magnética rotativa, como num VCR, para gravar em fitas com largura de 1/8 de polegada.

direct box Circuito eletrônico ou transformador, geralmente montado num pequeno gabinete, cuja função é receber um sinal não balanceado com nível de linha, gerar uma cópia exata desse sinal, e ainda, gerar um sinal balanceado de baixa impedância, com nível típico de microfone.

Utilizado em palco nos sistemas de reforço de música ao vivo, de sorte que, ao receber os sinais de linha de um instrumento elétrico, possa gerar um sinal semelhante ao recebido, usado pelo músico em seu próprio amplificador, enquanto o sinal balanceado prossegue para as consoles de mixagem.

dissipar Perda de energia elétrica, que é transformada em calor. Como consequência, há menos energia elétrica disponível.

distribuidor de programa Amplificador dotado de uma entrada monofônica ou estereofônica, e muitas saídas, todas relativamente bem isoladas umas das outras. Sua função é receber um programa e poder acionar simultaneamente várias cargas.

Também um amplificador com uma única saída, mas nesse caso de muito baixa impedância, de modo a poder trabalhar com várias condições de carga.

eixo dos X

A reta horizontal de um sistema de coordenadas retangulares.

eixo dos Y

A reta vertical de um sistema de coordenadas retangulares.

eletrólito Condutor elétrico não metálico, no qual a corrente elétrica é transportada pelo movimento de íons. Por exemplo, a solução de ácido sulfúrico, empregada em baterias, e a solução de hidróxido de sódio, empregada em pilhas convencionais.

energia cinética (T) Energia que um sistema apresenta como resultado de seu próprio movimento. A energia cinética de uma partícula num determinado instante é expressa por

$$\frac{1}{2}mv^2$$

onde

- m é a massa da partícula, e
- v sua velocidade naquele instante.

energia potencial (U) Energia que um sistema armazena e dispõe, como resultado de sua posição no espaço, ou de seu estado em relação a uma dada referência. Por exemplo, se um corpo de massa **M**, localizado num campo gravitacional com aceleração em queda livre igual a **g**, está a uma altura **h** acima de um certo nível, tomado como referência, a energia potencial é

$$U = Mgh$$

entonação O conjunto das alterações naturais na altura dos sons falados.

envelope Modelo a que podem ser comparados todos os sons. Caracterizado por suas quatro fases: o Ataque, a Queda, a Sustentação e a Extinção, ou Attack, Decay, Sustain e Release, ou ainda, ADSR.

EPROM

Abreviatura para Erasable Programmable Read Only Memory.

equação Relação matemática com a forma $A = B$, sendo A o primeiro membro da equação, e B o segundo. Exemplo de equação: $4x + 9 = 0$.

equalizador transversal Equalizador que utiliza apenas um único filtro FIR. O nome deve-se ao fato do filtro FIR também ser conhecido como filtro transversal.

espectrograma Forma de representação gráfica dos sons, na qual as frequências do espectro são exibidas em função do tempo, e associadas a magnitudes.

esplitagem Divisão dos sinais gerados pelos microfones em duas ou mais partes.

EVO

Envelopamento do ouvinte. Um dos determinantes da sensação de espaço, um dos atributos dos sons.

extinção A quarta e última fase do envelope dos sons, na qual os mesmos se desvanecem até o desaparecimento completo daquele mesmo som.

faixa do cidadão Duas faixas de frequências utilizadas por cidadãos para a transmissão de rádio, mediante licenciamento simplificado. No Brasil, somente a faixa de 26,960 MHz a 27,260 MHz está aberta para uso público. Nos Estados Unidos, além dessa, também encontra-se aberta a faixa de 462,5375 MHz a 467,7375 MHz.

faixa lateral única Modulação em amplitude de uma onda portadora, sendo que das duas bandas laterais apenas uma delas é transmitida.

fator de amortecimento (damping factor) Especificação de um amplificador, que denota sua capacidade de lidar e controlar as excursões indesejáveis havidas no cone de um alto-falante.

fator de força G

Fator de claridade, medido em decibels. Trata-se da relação entre a energia das reflexões primárias havidas nos primeiros 80 milissegundos, contados a partir do recebimento do som direto, e a energia reverberante, recebida após esses 80 milissegundos, até 3 segundos contados do recebimento do som direto. Seu cálculo pode ser feito através da expressão 5.12 do capítulo 5.

ferramenta nibling Ferramenta especial utilizada para abrir pequenos rasgos, ou cortar chapas metálicas.

filter HF

Filtro “High Frequency”. O mesmo que filtro passa baixas.

filter LF

Filtro “Low Frequency”. O mesmo que filtro passa altas.

filtro de linha de atraso tapeada O mesmo que filtro FIR.

filtro de média móvel O mesmo que filtro FIR.

filtro de onda digital O mesmo que filtro IIR.

filtro FIR

Filtro digital, não recursivo. O nome é uma abreviação para Finite Impulse Filter. Para alterar os sinais, estes filtros se valem da transformada de Fourier, e assim, trabalham no domínio do tempo, e não do da frequência.

filtro IIR

Filtro digital, recursivo. O nome é uma abreviação para Infinite Impulse Response, porque, teoricamente, uma vez que os sinais entram no filtro, em razão de suas sucessivas reinjeções, os mesmos circulariam indefinidamente pelo circuito.

Os filtros IIR alteram os sinais valendo-se da transformada de Fourier, portanto, trabalhando no domínio do tempo, e não do da frequência.

filtro ladder O mesmo que filtro IIR.

filtro lattice O mesmo que filtro IIR.

flip-flop Circuito eletrônico biestável, que pode ser facilmente comutado para qualquer um de seus dois estados.

fonema Conjunto de articulações produzido pelo aparelho fonador humano, que representa o mínimo segmento distinto.

fonemicamente balanceado O mesmo que foneticamente balanceado.

foneticamente balanceado Conjunto de palavras com ou sem significado, balanceado para conter as quantidades e pesos de fonemas que são tipicamente encontrados nas expressões mais utilizadas num dado idioma.

fotodiodo Diodo sensível à luz.

fonte Qualquer aparelho cuja saída é ligada na entrada de outro. Assim, um microfone é uma das fontes do mixer ou pré-amplificador ao qual é ligado, e o amplificador é a fonte das caixas acústicas por ele energizadas.

frequência normalizada Termo utilizado em representações gráficas, para indicar uma escala na qual cada frequência aparece como uma relação de uma única frequência, tomada como referência.

frequências naturais Sinônimo de ondas estacionárias.

Frequência própria de ressonância de um sistema qualquer. Como o peso e a mola do capítulo 3, o sistema móvel de um alto-falante, ou as frequências de ressonância de uma sala.

frequências permissivas Sinônimo de ondas estacionárias.

full range Termo utilizado para qualificar um alto-falante projetado para responder o máximo possível do espectro de áudio.

função Ao analisar a expressão $Y = 4X + 2$, vemos que a cada valor que a variável X assume, corresponde ao menos um valor para a variável Y . Nestas circunstâncias, diz-se que Y é uma função de X . O que pode ser matematicamente indicado como $Y = F(X)$. Lê-se Y função de X .

X é a variável independente (porque pode assumir qualquer valor desejado), e Y a variável dependente (porque seu valor depende do valor atribuído a X).

galvanômetro Instrumento utilizado para indicar ou medir pequenas correntes elétricas por meio de movimentos produzidos por forças eletromagnéticas ou eletrodinâmicas, geradas pela própria corrente elétrica. Um bom galvanômetro é capaz de medir correntes inferiores a 10^{-12} ampères.

galvanômetro d'Arsonval O mais simples dos galvanômetros de quadro móvel. O nome homenageia Deprez d'Arsonval.

Este instrumento utiliza a ação de um campo sobre uma corrente elétrica. O deslocamento da agulha é limitado pela torção de um fio, ou pela ação de uma pequena mola, de sorte que o movimento da agulha é sensivelmente proporcional à intensidade da corrente.

A agulha é pivotada numa base, geralmente de pedra preciosa, e na maioria das vezes a suspensão da agulha é obtida por meio de mola tipo fio de cabelo, com formato espiralado.

ganho acústico Ganho acústico próprio de um local fechado, e que corresponde à contribuição dada pelo campo reverberante.

ganho acústico do ambiente O mesmo que ganho acústico.

ganho acústico do ambiente fechado O mesmo que ganho acústico.

gerador Dispositivo capaz de gerar energia elétrica. Existem geradores CA e CC.

gerador de áudio Instrumento capaz de gerar sinais sinusoidais, ondas quadradas e triangulares, ou dente de serra.

gerador de harmônicas Instrumento capaz de gerar frequências harmônicas a partir de uma ou mais frequências fundamentais.

G_{MD}

Fator de claridade, calculado de acordo com a expressão 5.12 do capítulo 5.

gráfico Representação visual de uma relação entre variáveis. Por exemplo, $x = 2y$, onde x e y são as variáveis.

guia Arame que se deixa no interior dos eletrodutos, para facilitar o puxamento posterior dos cabos.

hard disk Termo associado à winchester de um computador.

híbrido De origem mista. Por exemplo, um amplificador de áudio que empregue válvulas e transistores é um produto híbrido.

hold Parâmetro programável de um noise gate. Uma vez ajustado, estabelece um tempo, contado a partir do momento em que o sinal em processamento torna-se inferior ao limiar, e durante o qual o gate do processador é obrigado a permanecer aberto.

hum Zumbido produzido nos sinais de áudio pelas fontes de alimentação, geralmente na frequência de 60 Hz e seus harmônicos.

Nome de guerra: **rame**.

IATI Abreviatura para Intervalo de Atraso de Tempo Inicial.

IHF

Abreviatura para Institute of High Fidelity.

O termo também descreve alguns procedimentos para obtenção de medidas, como é o caso da já extinta potência de saída IHF.

impedância Oposição total que um circuito oferece à passagem de uma corrente elétrica alternada.

Vetor soma da resistência e da reatância ($R+jX$), ou vetor de valor Z associado a um ângulo teta (Z,θ) impedância de carga Impedância da carga, como “enxergada” pelo circuito fonte.

initial time delay gap Para uma dada posição no espaço, tempo que decorre entre o instante do recebimento direto do sinal produzido pela fonte de som, e o instante do recebimento da primeira reflexão deste mesmo sinal.

inteligibilidade Inteligibilidade da palavra, ou simplesmente inteligibilidade, é o termo associado ao conjunto de fenômenos que nos fazem entender em maior ou menor grau as mensagens faladas que nos são dirigidas.

Naturalmente, a inteligibilidade é aplicável a uma simples conversa pessoal entre dois ou mais indivíduos, mas também a mensagens processadas por sistemas acústicos e eletroacústicos, como megafones, sistemas telefônicos, sistemas de reforço de som, e diversos outros.

Qualidade do que é inteligível.

interferência de RF

Particular forma de Interferência EletroMagnética, provocada por sinais de Radiofrequência (RF).

intervalo de atraso de tempo inicial Ver Initial Time Delay Gap.

isobárico Literalmente falando, o termo refere-se à mudanças num sistema, com a condição de que a pressão seja mantida constante e imutável. O termo também é utilizado para qualificar determinados tipos de caixas acústicas.

ITD

Abreviatura para Initial Time Delay Gap.

ITDG

Abreviatura para Initial Time Delay Gap.

jaque Geralmente, mas não necessariamente, a parte fêmea de qualquer conector.

jaque PAM

A parte fêmea de um conector tipo fonojaque, ou fonejaque, de 6,4 mm, ou Bantam, equipado com ponta (P), anel (A) e manga (M).

jaque PM

A parte fêmea de um conector tipo fonojaque, ou fonejaque, de 6,4 mm, ou Bantam, equipado com ponta (P) e manga (M).

K7 deck

O compartimento de um gravador K7 no qual se aloja a fita cassete para a gravação ou reprodução.

O termo também é usado para designar um gravador cassete, ou reproduutor cassete, ou ambos.

LAF

Largura Aparente da Fonte. Um dos determinantes da sensação de espaço, um dos atributos dos sons.

LEDE

Abreviatura para Live End Dead End.

LFO

Abreviatura para Low Frequency Oscillator.

limiar Em processadores de sinais, amplitude de sinal a partir da qual o aparelho deve operar, ou deixar de fazê-lo.

limiar adaptivo Limiar que se ajusta automaticamente em função das alterações do nível de ruído ambiente.

limitador simétrico Limitador assim chamado porque a limitação dos picos positivos e negativos ocorre de forma rigorosamente simétrica.

linear Fenômeno caracterizado por uma relação na qual uma das quantidades é igual à outra, multiplicada por uma constante.

linque de rádio Sistema de rádio que liga diretamente uma estação transmissora de um lado, e uma estação receptora de outro. Também chamado de enlace de rádio.

Live End Dead End Técnica de sala técnica de estúdio, proposta por Donald Davis. A parte frontal da sala é feita acusticamente tão amortecida quanto possível, de modo a evitar reflexões dos sinais produzidos pelas caixas monitoras, enquanto a parte traseira é feita muito reflexiva, utilizando difusores QRD, PRD e outros.

logatom Sílabas isoladas, geralmente sem sentido, empregadas na formação de sons a serem transmitidos durante testes de inteligibilidade. Muitas convenções prescrevem que os logatons sejam constituídos por uma consoante inicial, uma vogal central, e uma consoante final. Por exemplo, “bas”.

magnitude O valor real de uma grandeza qualquer, expressa em qualquer unidade de medida.

máquina cassete Nome genérico dado a qualquer gravador cassete, ou reproduutor cassete, ou gravador/reprodutor cassete.

mascaramento Forma reduzida para mascaramento acústico. Refere-se ao mascaramento de um som por outro. O efeito depende essencialmente dos níveis dos dois sons, e de suas frequências, ou segmentos ocupados no espectro de áudio.

O termo também é utilizado para descrever a causa elétrica do mascaramento acústico, geralmente imposto por ruídos de fundo sobre as passagens de baixo nível nos aparelhos.

mask Recurso de alguns processadores de sinal.

massa dinâmica A soma de todas as massas das partes sujeitas a movimentos em microfones e alto-falantes.

Maximum Length Sequence Sequência de dígitos binários, do gênero pseudo-aleatório.

Usualmente os zeros e uns são gerados por shift registers, e a seguir transformados em sinal bipolar de amplitude $\pm V_0$. A extensão deste sinal é $L=2^m-1$ amostras, sendo m a ordem do shift register. Na maioria dos casos os zeros correspondem a $+V_0$, e os uns a $-V_0$.

As técnicas de medição usando sequências MLS são muito utilizadas em áudio porque os sinais de teste apresentam características espectrais densas. Isto é, possuem grau de energia relativamente elevado em todas as frequências da banda de trabalho.

Mean Time Between Failure Medida de confiabilidade, que fornece o tempo aproximado de operação de um circuito ou parte, antes que ocorra o primeiro defeito. O cômputo do tempo total é feito pela soma da recíproca das taxas de defeitos dos componentes individuais do conjunto.

Mean Time To Repair Tempo calculado que é aproximadamente o que consome uma operação de reparo num circuito ou parte.

média aritmética É o valor típico representativo de um conjunto de números, calculado pelo somatório dos números do conjunto, dividindo-se este total pela quantidade de números. Exemplo: a média aritmética de 10, 12, 14, 16, 18 e 20 é

$$\frac{10+12+14+16+18+20}{6} = 15$$

média aritmética ponderada Os valores dos quais se quer calcular a média aritmética podem estar associados a fatores de ponderação, ou peso. Imagine um conjunto de 6 números, que estejam associados aos pesos p1, p2, p3, p4, p5 e p6. Nesse caso, a média aritmética ponderada é dada pelo somatório dos números do conjunto, individualmente multiplicados pelos respectivos pesos, dividindo-se este total pela soma dos pesos.

Exemplo. Sejam os números 10, 12, 14, 16, 18 e 20, respectivamente associados aos pesos 0,5, 2, 0,5, 2, 0,5 e 2. A média aritmética ponderada é

$$\frac{10 \times 0,5 + 12 \times 2 + 14 \times 0,5 + 16 \times 2 + 18 \times 0,5 + 20 \times 2}{7,5} = 15,6$$

média geométrica Dado um conjunto de N números, sua média geométrica é a raiz de ordem N do produto dos números. Exemplo: seja o conjunto dos números 10, 12, 14, 16, 18 e 20. Sua média geométrica é

$$\sqrt[6]{10 \times 12 \times 14 \times 16 \times 18 \times 20} = \sqrt[6]{9.676.800} = 14,59$$

média quadrática O mesmo que raiz média quadrática.

mensageiro Cabo de aço que serve de suporte para um cabo aéreo.

mensagens Textos pré gravados ou anunciados ao vivo através de sistemas especiais de áudio, projetados para distribuir mensagens, e eventualmente chamadas, em grandes

edificações, como shopping centers, centros comerciais, indústrias, e outros.

microfonia No sentido mais técnico do termo, microfonia descreve um efeito audível sobre os sinais de áudio, que resulta de vibrações ou movimento físico sobre os cabos. Comum em válvulas, transformadores e cabos portando sinais com níveis muito baixos. Especialmente os cabos de microfone, de onde provém o nome. O ruído resultante é característico e também decorre de acoplamentos capacitivos ou outras alterações no caminho dos sinais.

No Brasil (e não no exterior), usa-se o termo para qualificar o efeito audível resultante do estado de oscilação regenerativa de qualquer sistema de reforço de som, imposta por realimentação dos sinais acústicos sobre os microfones.

mixagem de retorno Uma ou mais mixagens geradas numa console de mixagem a partir dos sinais de entrada nos canais, com o objetivo de encaminhá-las de volta para o palco a fim de servir como sinal de monitoração para um ou mais músicos.

mixer automático Aparelho especial que pode ser composto com praticamente qualquer quantidade de canais. Caracterizado principalmente por possuir noise gates muito inteligentes em todos os canais, com capacidade para mutar automaticamente todos e quaisquer microfones não utilizados.

MLA Minimum Loss Attenuator (Atenuador de Perda Mínima) **MLS**

Abreviatura para Maximum Length Sequence.

modificador Qualquer operador capaz de modificar a Distância Crítica. Existem modificadores de natureza acústica, e os de natureza eletroacústica.

modos Sinônimo de ondas estacionárias.

modos acústicos Sinônimo de ondas estacionárias.

modos normais Conjunto dos três modos clássicos de formação de ondas estacionárias. Que são os modos axial, tangencial e oblíquo.

modulação Processo através do qual a amplitude, ou a frequência, ou a fase de uma onda, denominada portadora, é variada de acordo com os valores instantâneos de uma onda complexa, denominada onda moduladora. É esta que contém a informação que se quer transmitir. Os principais tipos de modulação são de amplitude (AM), de frequência (FM), e por código de pulsos (PCM).

módulo de amplificação O mesmo que amplificador de potência.

módulo de programa Amplificador de áudio utilizado em emissoras de rádio e de televisão, responsável pela amplificação do programa principal que está sendo transmitido.

monitoração de palco Recurso utilizado por músicos que se apresentam ao vivo, monitorando a música que está sendo tocada. Os sinais são provenientes da console de

mixagem de frente da casa, ou de consoles próprias de monitoração de palco, neste caso, geralmente operadas por operadores dedicados.

As mixagens devem poder ser feitas para atender exatamente as necessidades dos músicos. Após passar por amplificadores de monitoração, cada programa de monitoração é reproduzido por caixas acústicas spot e/ou side fill, e ainda, através de fones de ouvido sem fio.

Modulação por Código de Pulsos Forma de conversão de um sinal analógico em digital. A amplitude do sinal é amostrada numa taxa igual ou superior à mais elevada frequência do sinal analógico, e seu valor instantâneo associado a uma palavra digital.

monotonicamente Falar ou cantar com pouca entonação, e ainda, com modulação abaixo do normal.

movimento inercial Movimento que um corpo adquire em razão de sua inércia, mesmo depois que a força que o produziu tenha cessado.

MTBF

Abreviação para Mean Time Between Failure.

MTTR

Abreviação para Mean Time To Repair.

música funcional Tipo característico de programa musical, próprio para ser reproduzido em ambientes públicos, comerciais e industriais.

naípe de instrumentos Grupo em que se costuma dividir os instrumentos de uma orquestra. Por exemplo, o naípe dos violinos.

nível de pressão sonora Decibels acima da referência padrão, que é 20 $\mu\text{Newton/m}^2$.

nível de som equivalente Nível de som equivalente é o nível constante de som, em regime, que num dado intervalo de tempo considerado, contenha o mesmo nível de energia que um outro som, cujo nível seja variável com o tempo, ao qual equivale. Matematicamente, isto se escreve

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L_p}{10}} dt \quad (\text{A.1})$$

onde

• L_{eq} é o nível de som equivalente, • 0 é o início de contagem de tempo no período considerado, • T é o final da contagem do período considerado, e • LP é o nível de pressão sonora a cada instante O conceito de nível de som equivalente está baseado no fato de que sentimos aproximadamente o mesmo desconforto ao ouvirmos um ruído de muita intensidade, e de curta duração, ou ouvirmos um ruído de menor intensidade, mas de duração maior, quando o mesmo nível de energia é envolvido nos dois casos.

Para cálculo do nível de som equivalente, o intervalo de tempo considerado pode ser de apenas alguns minutos, parte do dia ou da noite, 24 horas, ou mesmo períodos mais longos.

nivelador de programa Tipo especial de amplificador projetado para manter o nível de saída de um programa dentro de certos limites. Orientado para emissoras de rádio e de televisão, onde o emprego de compressores e limitadores convencionais muitas vezes produz resultados indesejáveis, a exemplo de aplicação diferente de limitação para os dois canais de uma transmissão estereofônica a dois canais.

nó Ponto de mínima que resulta da combinação de ondas sonoras num espaço fechado.

NOM

Ver quantidade de microfones simultaneamente abertos.

notação científica O mesmo que notação exponencial.

nulling Maneira de ajustar um dispositivo, igualando ou equilibrando duas grandezas. Entre outras, um indicador de nulling pode ser um medidor da variedade convencional, com agulha, sendo que o ponto de nulling é indicado quando a agulha atinge o ponto zero, geralmente marcado no centro da escala do aparelho.

número algébrico Número ao qual se associa um sinal positivo ou negativo. Também chamado número relativo.

número complexo Número que pode ser escrito na forma

$$A + jB$$

onde A e B são números reais, e $j = \sqrt{-1}$.

O número $\sqrt{-1}$ é chamado número imaginário porque não pode ser localizado num diagrama ou gráfico. Entretanto, por definição matemática sabemos que $\sqrt{-1} \times \sqrt{-1} = -1$. Por isso, na forma gráfica, o número $\sqrt{-1}$ deveria estar entre -1 e +1, rotacionado a 90° do eixo representando 0°. Do mesmo modo, $-(\sqrt{-1})$ também deveria estar entre -1 e +1, mas agora rotacionado em -90°, ou 270°.

Assim, o termo $\sqrt{-1}$ acaba por constituir uma instrução para que o número associado a ele seja rotacionado em 90°.

Na literatura existente, o número $\sqrt{-1}$ também aparece como “j”, e como “i”.

O número complexo escrito na forma $A + jB$ (forma retangular), também pode ser escrito em sua forma polar, que é:

$$X \angle \theta$$

onde

- X é a magnitude ou módulo da grandeza, e • θ é o ângulo de fase ($\arctan B/A$) **número de onda** O inverso do comprimento de onda de um fenômeno vibratório.

número imaginário O mesmo que número complexo.

O número $\sqrt{-1}$.

número irracional Número real que não é racional.

número natural Número inteiro e positivo.

número negativo Qualquer número menor do que zero.

número positivo Qualquer número maior do que zero.

número racional Número que pode ser escrito como quociente de dois números inteiros, com o divisor não nulo.

número real Par de classes, uma minorante, e outra majorante, em que se costuma dividir o conjunto dos números racionais, de sorte que todos os números racionais, exceto no máximo um deles, esteja numa das classes.

onda completa Termo associado a circuitos de retificação que usam os meio ciclos positivos e negativos da onda CA para obter a forma CC.

ordenada Num sistema de coordenadas retangulares, a distância medida no eixo dos Y.

oscilador controlado por voltagem Oscilador cuja frequência é governada por uma voltagem de controle, geralmente na forma CC.

oscilação amortecida Oscilação caracterizada pela redução gradativa da magnitude das ondas sucessivas, até que não haja mais qualquer oscilação.

override Recurso de um sistema de mixagem automática, que permite que um só microfone, especialmente escolhido e programado para isso, interrompa todos os demais, independentemente de programações.

overshut Termo aplicável aos medidores VI convencionais, quando a agulha, para indicar um determinado nível de sinal, ultrapassa o ponto que deveria.

PA Abreviatura para Public Address.

padrão de reflexões Padrão próprio de um ambiente, determinado pela distribuição temporal do som direto e suas várias reflexões, além das respectivas magnitudes.

paging Termo usado no jargão dos sistemas de 70,7 volts, para designar a chamada de uma ou mais pessoas.

palco Local onde ficam os atores num teatro. Os palcos podem ser classificados em • palco central, ou arena, ou penthouse, quando é totalmente circundado por assentos • palco aberto, quando é integrado a um espaço, como em auditórios • palco proscênio, quando o palco e o proscênio dividem o espaço nas áreas do palco propriamente dito, e da plateia • palco

projetado, quando o palco é lançado na área da plateia, geralmente com formato de ferradura

paralaxe acústica Erro que se comete ao supor que os centros acústicos dos alto-falantes sejam fixos e imutáveis. O que não é verdade. Com efeito, os centros acústicos se deslocam em função da frequência. O erro é praticamente inevitável quando se medem clusters, ou mesmo caixas acústicas multivias, já que nesses casos há tantos centros acústicos quantas são as vias, ou falantes diferentes.

parâmetros T-S

Parâmetros T-S, ou Thiële-Small, são os elementos básicos que qualificam um falante, e que são utilizados no método de projeto desenvolvido pelos autores.

Destes, os mais conhecidos são:

- Q_{ts} - relação entre energia reativa e resistiva, ou amortecimento, ou fator de mérito total
- V_{AS} - volume equivalente da compliância da suspensão do falante
- F_s - frequência de ressonância do cone do falante ao ar livre
- Z_{fs} - impedância do falante ao ar livre, na frequência F_s

PCM

Abreviatura para Pulse Code Modulation (Modulação por Código de Pulsos).

penetração de sinais de rádio Termo associado ao alcance dos sinais de RF transmitidos por emissoras de rádio e de televisão.

perda Do ponto de vista físico, qualquer potência dissipada sem realização de trabalho. No caso de áudio, geralmente a parcela de energia elétrica que é convertida em calor. As perdas costumam ser expressas em decibels. Para tanto, comparam-se os níveis de entrada e de saída num aparelho ou componente.

As perdas mais comuns são as perdas por inserção, as perdas em linha, e as perdas por rendimento abaixo de 100%, como por exemplo, as que existem no caso de um alto-falante.

permissividade do meio Propriedade de um determinado meio, através da qual é possível estabelecer sua indutância.

Simbolizada por μ , é expressa em Henry por metro.

Para o ar, a permissividade é da ordem de $1,26 \times 10^{-6}$ Henry/metro.

permitividade do meio Propriedade de um determinado meio, através da qual é possível estabelecer sua capacitância.

Simbolizada por ϵ , é expressa em Farads por metro.

Para o ar, a permitividade é da ordem de $8,85 \times 10^{-12}$ Farads/metro.

piprack Conjunto de dutos que canalizam água, óleo, combustível e outros fluidos, e que são montados em parques industriais. Os dutos geralmente seguem trajetos paralelos.

platéia Forma coletiva com a qual se refere ao grupo de pessoas que vão a um teatro ou auditório na qualidade de espectadores, e que se sentam nas poltronas para tanto previstas.

Também é o nome da área na qual são instaladas essas poltronas, incluindo-se as áreas de circulação.

playback Programa pré gravado, que pode ser reproduzido a qualquer momento que desejado, geralmente para compor uma trilha ao vivo em teatros. O termo também é usado no jargão das emissoras de rádio e de televisão.

plugue Geralmente, mas não necessariamente, a parte macho de qualquer conector.

plugue PAM

A parte macho de um conector tipo fonojaque, ou fonejaque, de 6,4 mm, ou Bantam, equipado com ponta (P), anel (A) e manga (M).

plugue PM

A parte macho de um conector tipo fonojaque, ou fonejaque, de 6,4 mm, ou Bantam, equipado com ponta (P) e manga (M).

PMPO

Abreviatura para Peak Music Power Output (Potência de Saída de Picos Musicais).

polarização Quando usado em eletrônica, o termo se refere a um sinal ou voltagem que objetiva deixar um dispositivo, como um transistor, em suas condições normais de operação.

ponte Tipo de operação de amplificador de dois canais, em que ambos contribuem para a produção de um único sinal de saída, com nível mais elevado do que o produzido em cada canal operando simultaneamente.

A polaridade do sinal de entrada deve ser invertida para apenas um dos canais, e o sinal de saída é tomado entre os terminais positivos dos dois canais.

Postfix Notation O mesmo que Reverse Polish Notation.

pot Abreviatura para potenciômetro.

potência contínua de saída Potência nominal de saída de um amplificador, geralmente medida durante um período não inferior a uma hora. A especificação resultante deve ser acompanhada da resposta de frequência de saída obtida nas condições de teste, do nível de distorção resultante, *etc.* Para amplificadores com mais do que um canal, o teste deve ser feito com todos os canais operando simultaneamente.

potência de saída de picos musicais Do ponto de vista técnico, um número totalmente inócuo, exceto por razões mercadológicas e favoráveis aos fabricantes. Isto ocorre porque os critérios de testes e procedimentos de medições não são estabelecidos. Nem rigorosamente, nem de qualquer outra forma. Como consequência, cada fabricante pode fazer literalmente o que bem entende.

A figura PMPO costuma enganar barbaramente consumidores de aparelhos domésticos, que muitas vezes julgam estar comprando produtos capazes de gerar elevadas potências elétricas. E depois, em suas casas, percebem que a potência real disponível é realmente muitas vezes inferior ao que a “especificação” PMPO sugeria que fosse.

potenciômetro Resistor de formato circular ou linear, dotado de um cursor, ou braço, que pode ser deslocado para qualquer posição entre os dois terminais extremos do componente. Com esse deslocamento, alteram-se as resistências entre o braço e cada extremidade.

pressão dinâmica Pressão sonora instantânea.

pressão sonora Variação da pressão atmosférica normal (p_0) para um novo valor (p), consequência da passagem de uma onda sonora, como constatada durante um determinado período de tempo.

programa Uma sequência de sinais gravados, armazenados ou transmitidos, com finalidade de entretenimento ou informação, ou ambos.

proscênio

Armação, geralmente em forma de quadro ou de arco, que num teatro separa o palco da área da plateia.

produção descontinuada Termo utilizado na indústria, que caracteriza qualquer produto que deixou de ser fabricado.

profundidade Num programa estereofônico, o termo é usado para caracterizar a percepção da maior ou menor distância dos instrumentos ao ponto de audição, e também, às distâncias entre os instrumentos, sempre no sentido radial, tomando como centro, ou referência, o próprio ponto de audição.

profundidade de modulação Quando aplicável à modulação em frequência, é a relação entre o desvio de frequência medido ou calculado, e um desvio referência, geralmente estabelecido em 100% da modulação.

Quando aplicável à modulação em amplitude, é a relação entre a amplitude da onda modulada e a amplitude da onda moduladora.

Outros sinônimos: índice de modulação e porcentagem de modulação.

Public Address Termo usado para caracterizar o sistema que atende à frente da casa num sistema de reforço acústico de música ao vivo ou não, e também, de sistemas para reforço de voz.

O termo também é aplicável, e esta é sua origem, a sistemas de distribuição de avisos, mensagens e chamadas.

Pulse Code Modulation Ver Modulação por Código de Pulsos.

pulso Nome genérico a qualquer sinal de duração muito curta.

puntiforme Na física, o termo refere-se a um único ponto no espaço.

Em áudio, o termo é usado para descrever uma fonte de som muito distante de alguém, que assim, teoricamente, teria a impressão de que todos os sons provenientes daquela fonte teriam origem no mesmo ponto do espaço. O que, sabemos, não é uma verdade prática.

quadripolo Conjunto de elementos de circuito, ligado a outros circuitos externos através de quatro terminais, sendo necessariamente dois de entrada e dois de saída.

quantidade de energia Quantidade total de energia que um sistema apresenta, ou sua capacidade de realizar trabalho. A unidade básica de energia é o Joule. A unidade elétrica de energia é o quilowatt-hora, equivalente a $3,6 \times 10^6$ Joules.

quantidade de microfones simultaneamente abertos A quantidade de microfones efetivamente abertos numa seção musical, ou reunião onde os microfones estão sendo utilizados por palestrantes. Não importa se os microfones estão ou não sendo utilizados a cada momento, desde que eles estejam abertos.

Em áudio, a convenção é designar essa quantidade como NOM, para Number of Open Microphones.

queda A segunda fase do envelope de um som, caracterizada pela queda mais ou menos abrupta da amplitude que geralmente atinge seu ponto máximo na fase anterior, o ataque.

radiofrequência Qualquer frequência cuja energia eletromagnética possa se propagar pelo espaço.

Na parte inferior do espectro, as frequências coincidem com as frequências de áudio, e na parte superior do espectro, as frequências se aproximam das frequências da luz.

raiz média quadrática O termo é a tradução literal de Root Mean Squared, ou Root Mean Square, ou ainda, RMS, expressão com a qual estamos mais familiarizados.

A raiz média quadrática de um conjunto de números é a raiz quadrada de uma fração, cujo numerador é a soma dos números elevados ao quadrado, e cujo denominador é a quantidade total de números do conjunto.

Exemplo: seja o conjunto dos números 10, 12, 14, 16, 18 e 20. A média quadrática é

$$\sqrt{\frac{(10)^2 + (12)^2 + (14)^2 + (16)^2 + (18)^2 + (20)^2}{6}} = \sqrt{236,67} = 15,38$$

range Num sentido mais amplo, o termo refere-se à uma faixa ou gama, que tanto pode ser de frequência (range ou gama de frequências) quanto de amplitude (range ou gama dinâmica).

O termo também é empregado com o sentido de atenuar mais ou menos a ação de expansão de noise gates e expansores.

realimentação Técnica de usar parte da voltagem de saída de um circuito, geralmente de amplificação, fazendo-a retornar para qualquer estágio anterior, geralmente o de entrada. Nestes casos, o objetivo é reduzir os níveis de distorção do aparelho.

Qualquer sinal retroalimentado.

Em sistemas de amplificação, efeito do acoplamento entre a saída da fonte e a entrada da carga, do que podem ocorrer modificações indesejáveis dos parâmetros de amplificação do sistema.

realimentação acústica Realimentação dos sinais acústicos sobre um ou mais microfones, do que pode resultar o efeito que chamamos de microfonia. Efeito este de natureza audível, e que decorre diretamente da oscilação regenerativa do sistema.

realimentação mecânica Realimentação dos sinais de áudio sobre transdutores muito sensíveis, particularmente cápsulas fonográficas e microfônicas, fazendo com que essas vibrem e produzam sons indesejáveis, além de muitas outras formas de distorção.

realimentação negativa Forma de realimentação na qual as voltagens dos sinais de saída do circuito são retroalimentadas em anti-fase em relação aos sinais de entrada em curso, de

sorte que há uma redução no ganho do sistema. Esta é a forma de realimentação utilizada para reduzir a distorção em amplificadores, já que a distorção presente nos sinais de saída tem um efeito servo corretivo.

realimentação positiva Forma de realimentação na qual as voltagens dos sinais de saída do circuito são retroalimentadas em fase em relação aos sinais de entrada em curso, de sorte que há um aumento no ganho do sistema. Às custas de aumentos nos níveis de distorções.

receptáculo Tomada de energia elétrica utilizada na rede comercial, na qual fazemos a ligação de aparelhos elétricos e eletrônicos.

rede de atraso Tubo com aberturas laterais colocado na frente de microfones (shotgun), para aumentar sua diretividade. O princípio de operação das redes de atraso é o cancelamento de fases acústicas.

referenciamento posterior O termo refere-se a uma interligação de fonte com saída eletrônica não balanceada para carga com transformador, na qual a condição de não balanceamento implica em maior susceptibilidade à captação de ruídos se comparada com interligações totalmente balanceadas.

O referenciamento posterior ocorre quando o transformador é desbalanceado, e referenciado ao terra da fonte. Essa é uma das técnicas muito empregada no controle da IEM, já que o controle de ruídos de terra de modo comum, como os resultantes de diferenças de potencial de terra, é feito de maneira muito eficaz.

refletor No jargão da captação microfônica, refletor é um acessório para microfone, geralmente em forma de parábola, utilizado por trás do transdutor, de sorte que todas as ondas acústicas que passariam sem atingir o diafragma, possam ser captadas pela superfície interna da parábola e concentradas em seu foco. Exatamente onde deve estar o diafragma do microfone. Este fica, então, orientado para o centro da parábola, e o ajuste pode ser feito pelo distanciamento entre ambos, o que depende exclusivamente do tamanho e características da parábola, de um lado, e do padrão de captação do microfone, de outro.

No jargão da acústica, refletor é qualquer superfície capaz de refletir as ondas acústicas.

No jargão da radiocomunicação, refletor é qualquer obstáculo capaz de refletir as ondas eletromagnéticas que se quer propagar. Fenômeno muitas vezes indesejável, especialmente quando provoca a recepção por vias múltiplas, e muitas vezes desejável, como por exemplo no caso da propagação utilizando a ionosfera. Esta é a técnica que consiste em irradiar o sinal para frente, com angulação para cima, de sorte que ele seja refletido pelas camadas ionizadas da ionosfera (contendo cerca de 10^5 elétrons livres por cm^3), podendo, assim, atingir distâncias consideravelmente grandes.

reflexão de primeira ordem A primeira reflexão que atinge os ouvidos de um espectador

num ambiente fechado, proveniente do som direto que o atingiu pouco antes.

reflexão especular Reflexão na qual o ângulo de reflexão é exatamente igual ao ângulo de incidência. O termo é uma alusão às imagens provenientes dos espelhos.

reflexões primárias O conjunto de reflexões recebidas entre os momentos em que o espectador recebe a primeira reflexão, ou reflexão primária, e o momento em que essas primeiras reflexões como que fazem uma transição. Que pode ser uma pausa muito rápida, ou uma queda de intensidade muito pronunciada.

Em inglês, Early Reflections. As reflexões primárias costumam ser designadas por L_{REF} .

reflexões primárias antecipadas Reflexões muito prematuras, ou antecipadas em relação ao que se poderia esperar, cuja principal característica é prejudicar muito a inteligibilidade.

Em inglês, Early Early Reflections (EER). Em português também se usa a abreviação RPA.

Relação de Rejeição de Modo Comum (RRMC) A medida da habilidade de uma entrada balanceada rejeitar sinais ou ruídos comuns aos dois ramos de entrada, ou sinais e ruídos de modo comum.

Usualmente, esta habilidade diminui com o aumento da frequência.

release Um dos parâmetros que modificam a dinâmica de processadores de sinal, como os compressores, os expansores e os noise gates. Refere-se ao tempo que o processador deve voltar a seu estado original, depois que cessa o efeito que o provocou, como a passagem do sinal de controle pelo nível do limiar.

RPA Ver Reflexões Primárias Antecipadas **resistência friccional** Resistência mecânica provocada por atrito, geralmente das moléculas de ar.

resposta de frequência A resposta de frequência de um microfone, amplificador, gravador digital ou analógico, ou caixa acústica, pode ser facilmente interpretada pela comparação da plotagem dos sinais de entrada e de saída num gráfico amplitude (eixo vertical) contra frequência (eixo horizontal).

Como o sinal de entrada de entrada é geralmente muito plano, sua plotagem pode ser omitida.

Na maioria dos atuais aparelhos digitais ou analógicos, a resposta de frequência mínima é de 20 Hz a 20 kHz, dentro de $\pm 0,5$ dB. Para alto-falantes e caixas acústicas utilizados em sistemas profissionais, essa tolerância pode chegar a atingir $\pm 10,0$ dB.

ressonador helicoidal Ressonadores são dispositivos que têm a finalidade de introduzir ressonância num sistema. Os ressonadores helicoidais são utilizados como filtros passa bandas nos mais sofisticados receptores de rádio, inclusive de microfones e equipamentos sem fio.

ressonâncias da sala O mesmo que ondas estacionárias.

resultado sônico Qualidade final do áudio produzido por um aparelho ou sistema, como julgado tanto subjetivamente, quanto objetivamente.

Reverse Polish Notation Princípio de operação de calculadoras científicas avançadas. Utiliza uma ordem sequencial de entrada, denominada pilha. É governado por duas regras: • os números (denominados argumentos) são digitados sequencialmente, antes que se faça a operação matemática desejada • então se pode fazer a operação, sendo que o resultado é apresentado na pilha, ficando disponível como um novo argumento para servir a outras operações **RF**

Abreviatura para Resposta de Frequência.

Abreviatura para Radiofrequência.

rimas modificadas Padrão de palavras utilizado em testes práticos de inteligibilidade. O nome deve-se ao fato das palavras escolhidas terem origem em padrões e rimas conhecidas, que são modificadas para que tenham outros sentidos, ou para que não tenham qualquer sentido.

ringing Comportamento típico de um sistema de reforço, quando este aproxima-se de seu PAG, ou ganho acústico potencial.

O efeito resultante é uma severa irregularidade na resposta de frequência do sistema. Mesmo quando ele é bem projetado, bem instalado e está corretamente alinhado.

Por essa razão, procura-se evitar que o sistema trabalhe nessa região, operando-o com ganho inferior ao ganho unitário. Essa diferença de ganhos é uma margem de trabalho. Seu nome técnico é FSM, para Feedback Stability Margin (ou Margem para Estabilidade de Realimentação).

O termo ringing também é aplicado para descrever o efeito de um filtro, que sob determinadas condições provoca oscilações amortecidas.

RMS (Root Mean Squared, ou Root Mean Square) Ver raiz média quadrática.

RPN

Abreviatura para Reverse Polish Notation.

RRMC

Abreviatura para Relação de Rejeição de Modo Comum.

RSPZ

Abreviatura para Referencial de Sinal de Potencial Zero.

seriar Ligar em série.

setorização Num sistema de alta impedância/voltagem constante, é a divisão de todos os alto-falantes em grupos, correspondentes a setores físicos, para efeito de endereçamento seletivo de avisos, mensagens e chamadas.

70,7 volts

Tipo de sistema de áudio, assim designado porque os amplificadores utilizados operam com voltagem de 70,7 volts quando trabalhando com sua potência nominal de saída. O termo também é aplicado aos próprios amplificadores, e ainda, às linhas que ligam os amplificadores aos alto-falantes.

Ver também sistema de alta impedância/voltagem constante.

SHF (Super High Frequency) Faixa de frequências que se estende de 3 a 30 GHz.

shunt Componente colocado em paralelo com outro, para bypassá-lo, ou para mudar as características daquele trecho do circuito.

Colocar um componente em paralelo com outro.

side chain Cadeia Lateral **side fill** Em sistemas de reforço de música ao vivo, conjunto de caixas acústicas para monitoração de palco, localizadas nas partes laterais do palco.

sinal Forma reduzida de sinal elétrico.

sinal de áudio Termo mais específico para se tratar um sinal elétrico, que analogicamente corresponde a ondas de som.

sinal de RF

Sinal elétrico contendo informações de radiofrequência. Portanto, geralmente um sinal ainda modulado, e que necessita demodulação para extração das informações nele contidas.

sinal elétrico Em áudio, qualquer série de impulsos elétricos ou ondas eletromagnéticas que possam representar informações, especialmente sinais de áudio. Podem ter a forma digital ou analógica.

Aplicado em áudio, ou não, o termo também pode estar fazendo referência a qualquer outro tipo de sinal, que não sinais de áudio, a exemplo de sinais de controle.

sinal molhado Termo utilizado no jargão dos estúdios, e que se refere ao sinal em curso por um dos canais do mixer de gravação, já processado, contendo toda a reverberação desejada.

sinal seco Termo utilizado no jargão dos estúdios, e que se refere ao sinal em curso por um dos canais do mixer de gravação, porém, ainda sem qualquer reverberação.

sinal úmido Uma mistura em qualquer combinação do sinal molhado com o sinal seco.

sinusoidal Termo que refere-se especificamente a sinusóide, que é qualquer curva obtida em função das variações do seno de um ângulo.

sistema Disposição de aparelhos, interligados de modo que o conjunto funcione como uma estrutura organizada.

sistema de alta impedância/voltagem constante Sistemas cujos amplificadores trabalham com altas voltagens e baixas correntes. Portanto, com altas impedâncias.

Sua aplicação é a melhor alternativa diante de casos que requeiram grande quantidade de falantes, todos operados com níveis baixos ou moderados de energia. Incluindo-se aí cornetas acústicas.

As ligações entre amplificadores e falantes podem chegar facilmente à casa de quilômetros. Mas dadas as características das interligações entre amplificadores e falantes, as bitolas dos cabos são sempre relativamente modestas.

A voltagem mais utilizada é 70,7 volts, e a potência dos amplificadores fica geralmente por volta de 100 watts.

sistema de coordenadas retangulares O mesmo que coordenadas retangulares.

sistema de distribuição de música funcional Sistema de alta impedância/voltagem constante, projetado exclusivamente para distribuir música funcional.

sistema de gravação Sistemas que podem variar consideravelmente de complexidade, utilizados em estúdios, centrais de gravação, gravações log para rádio, de segurança, e diversos outros sistemas.

O centro desses sistemas são gravadores. E nesse particular, as máquinas digitais praticamente substituíram as máquinas analógicas.

sistema de mixagem automática Sistemas utilizados em salas de reunião, parlamentos e outros locais, geralmente para reforço de voz, que se valem de mixers automáticos. Estes podem ser compostos para quantidades virtualmente ilimitada de canais de entrada, todos equipados com gates providos de limiar adaptivo.

Os mixers automáticos e os sistemas de mixagem automática possuem uma enorme série de recursos, todos muito úteis para suas aplicações mais típicas.

sistema de reforço acústico de voz Sistema projetado para reforçar voz humana de um ou mais oradores, geralmente todos se dirigindo para uma plateia que fica fisicamente no mesmo local que eles.

O predicado mais importante de um sistema desses é a elevada inteligibilidade.

sistema de reforço de música ao vivo Sistema projetado para reforçar instrumentos musicais acústicos e elétricos, além de voz humana de vocalistas, geralmente em tempo real. Tais sistemas se compõem da parte chamada frente da casa, que é a que atende o público, e da parte dedicada à monitoração de palco, que atende às necessidades de monitoração dos artistas.

sistema de reforço de voz O mesmo que sistema de reforço acústico de voz.

sistema de reprodução de música mecânica Sistema projetado para reforçar programas musicais já gravados ao vivo, reproduzidos localmente ou não. Não estão sujeitos a realimentações, nem a oscilações, ou estão menos sujeitos a isso.

sistemas de endereçamento público Nome genérico dado aos sistemas de alta impedância/voltagem constante.

sistemas de paging Sistema de alta impedância/voltagem constante projetado exclusivamente para localizar pessoas através de chamadas, que podem ou não ser setorizadas.

slave Função automática de um compressor equipado com dois ou mais canais de processamento. Também chamado de “stereo link”, o recurso possibilita que o controle exercido por apenas um dos canais seja extensível a todos os demais canais, simplificando o procedimento de ajustes, desde que se queira o mesmo ajuste para todos os canais.

SMPTE

Abreviatura para Society of Motion Picture and Television Engineers.

SMPTE Time Code Código digital de sincronismo, proposto pela Society of Motion Picture and Television Engineers. Sua função é identificar localizações como especificado no Padrão 12M-1986 da ANSI/SMPTE.

Cada número digital gravado representa horas, minutos, segundos e quadros, além de outras informações de localização.

O sinal é basicamente uma onda quadrada modulada, que pode ser lida em qualquer direção e em diferentes velocidades. Cada palavra é formada por 80 bits, divididos em 4 grupos.

sobremodulação Modulação de amplitude superior a 100%. Portanto, provocando distorções.

sobremodular Operar com sobremodulação.

solar um canal Monitorar o som de um canal da console de mixagem, geralmente fazendo uso do fone de ouvido e do recurso PFL ou outro, equivalente.

somatório Esta entidade, cujo símbolo é Σ , é apenas a soma de um conjunto de números. Por exemplo, o somatório de 10, 12, 14, 16, 18 e 20 é igual a 90. Representação matemática: $\Sigma_1^6 - 90$. O 1 e o 6, colocados adiante do símbolo, indicam que a soma é feita a partir do primeiro número, e contém 6 números, respectivamente.

som direto Som que nos chega aos ouvidos, caminhando diretamente de sua origem, a fonte de som.

som refletido Sons que nos chegam aos ouvidos depois do som direto, caminhando de sua origem através de quaisquer caminhos que envolvam uma ou mais reflexões.

sonda O mesmo que guia.

sound contractor Termo de origem norte-americana, mas de utilização internacional, que designa um particular profissional de áudio, pouco conhecido entre nós. Geralmente engenheiro e consultor de eletroacústica, a função principal deste profissional é contratar de terceiros todos os serviços necessários para que um determinado sistema possa vir a ser implantado. Isto, agindo em nome do cliente, e com todas as responsabilidades daí decorrentes, especialmente as relacionadas com a obtenção do resultado final dentro de um orçamento pré estabelecido.

Exemplos de serviços que podem ser contratados são a consultoria inicial para determinar o tipo e as características do sistema desejado, a elaboração de estudos, de anteprojetos, de projetos executivos, a seleção e a contratação das empresas e/ou profissionais que fornecerão os equipamentos, a seleção e a contratação das empresas e/ou profissionais que executarão a

instalação, o provimento da documentação técnica, o treinamento dos operadores, e tantos outros.

Embora tenha capacidade para tanto, o sound contractor, assim agindo, jamais elabora projetos para os casos que atende, mas coopera para que a integração do sistema seja bem sucedida, avaliando a qualidade de cada passo dado.

speaker zoning Recurso de programação dos sistemas de mixagem automática, através do qual os módulos de amplificação podem ser programados para bloquear ou atenuar numa proporção pré estabelecida o nível de energia entregue ao correspondente falante. Para tanto, os sistemas geram um sinal de comando para os amplificadores. Como os mixers automáticos são sempre dotados de um mínimo de lógica eletrônica, é sempre possível saber qual ou quais canais estão sendo utilizados a cada momento. E o sinal de comando pode ser dado pelo mixer ao amplificador, de forma que o falante visado seja exatamente aquele que atende a área onde está o microfone em uso. Assim, o recurso possibilita um controle muito eficiente sobre a microfonia.

spot Em sistemas de reforço de música ao vivo, caixa acústica para monitoração de palco, localizada junto ao artista.

squawker Antigo termo usado para designar um alto-falante de médias frequências.

SSB

Abreviatura para Single SideBand (Faixa Lateral Única) **Stack Logic** O mesmo que Reverse Polish Notation.

super-heteródino Que emprega técnicas heteródinas. Isto é, o deslocamento de um sinal de rádio captado para uma frequência diferente, geralmente muito mais baixa, chamada FI, ou frequência intermediária.

sustain Ver sustentação.

sustentação A terceira fase do envelope de um sinal de áudio, na qual a tendência é a manutenção do nível de energia.

T-S

Abreviatura para Thiële-Small.

taxa de modulação O mesmo que profundidade de modulação, percentual de modulação, e índice de modulação.

Thiële-Small Os nomes de Neville Thiële e Richard Small, que batizam a técnica por eles criada para desenvolver projetos de caixas acústicas. O método é simples, rápido e bem mais preciso do que era possível até então.

Ver também Parâmetros T-S.

threshold Limiar.

tilt Em áudio, o termo é empregado para descrever o ângulo que um alto-falante ou caixa acústica faz quando é girado em torno de seu eixo principal. O tilt é usado no alinhamento mecânico de falantes, juntamente com as angulações nos planos horizontal e vertical.

transdução Conversão da energia de uma para outra forma. Como a conversão da energia mecânica em elétrica, ou vice-versa.

transdutor

Dispositivo capaz de converter uma forma de energia em outra. A exemplo de um microfone e de um alto-falante.

transformada de Fourier Operação matemática muito empregada em áudio.

Um analisador que se vale desta técnica pode processar um único pulso produzido por um sistema, mesmo que seja de curta duração, e apresentar uma série apreciável de informações sobre a resposta do sistema, no domínio da frequência. Analisadores FFT de dois canais também informam dados sobre fase.

trato vocal Conjunto de todos os órgãos que formam o aparelho fonador humano. Entre eles estão as cordas vocais, o véu palatino, a língua, os lábios, o palato e os dentes.

tubo de interferência Ver Rede de Atraso.

UHF (Ultra High Frequency) Faixa de frequências que se estende de 300 MHz a 3 GHz.

unidade lateral O amplificador de controle utilizado num processador do gênero compressor, limitador, expensor ou noise gate.

unifilar Termo usado para descrever um diagrama elétrico simplificado, no qual dois ou mais fios podem ser representados por um único deles.

vácuo Espaço no qual não há presença de ar, nem de gases, nem de qualquer outra matéria.

vale coincidente Quando uma estrutura funciona como obstáculo acústico, seu comportamento pode ser dividido em 4 regiões do espectro. Na primeira a perda de transmissão se deve principalmente ao grau de rigidez da superfície. Na segunda, a perda se deve às ressonâncias mecânicas da estrutura. Na terceira região o controle é exercido pela massa da superfície.

A quarta e última região é governada pelo efeito coincidência.

Trata-se de um fenômeno que ocorre quando o comprimento de onda do som incidente coincide com o comprimento de onda das flexões naturais de vibração da estrutura. De modo que, para uma determinada frequência, e para um determinado ângulo de incidência dos sons, as oscilações da superfície são muito amplificadas, e a energia acaba sendo transmitida com atenuação desprezível. Trata-se de um ponto onde a perda de transmissão é consideravelmente reduzida.

Esse fenômeno é denominado vale coincidente, e ele pode ser entendido como se fosse um “buraco acústico”. Que felizmente só permite a passagem de uma banda muito estreita de frequências.

varactor Diodo semicondutor usado como capacitor. Variando-se a polarização inversa consegue-se uma variação da capacitância, tipicamente entre 0,2 e 300 pF.

Variac O termo Variac é um nome comercial de um produto da empresa General Radio Co.

O produto é um auto-transformador variável, enrolado num núcleo toroidal, utilizado para manter a voltagem de saída controlada, dentro de certos limites. O dispositivo possui um eixo rotativo atrelado a uma escova, que faz contato com espiras consecutivas. Desse modo, a voltagem de saída pode ser controlada de zero ao valor máximo.

variável Em matemática, qualquer símbolo desejado, como X, Y, B, ou S, utilizado em operações matemáticas gerais, que pode assumir qualquer valor de um dado conjunto de valores, como lhe for atribuído. O conjunto de valores é chamado domínio da variável.

varistor Literalmente, um resistor cuja resistência é variável com a voltagem. Em sua forma mais geral, um par de diodos ligados em paralelo, com polaridades opostas. Usado como dispositivo limitador de voltagem porque sua resistência cai abruptamente quando a voltagem aplicada atinge um determinado valor limite.

VCA Abreviatura Para Voltage Controlled Amplifier (Amplificador Controlado por Voltagem).

VCO

Abreviatura Para Voltage Controlled Oscillator (Oscilador Controlado por Voltagem).

ventre Pontos de máxima que resultam da combinação de ondas sonoras num espaço fechado. O mesmo que antinó, e que ventre de máxima.

ventre de máxima Ver antinó e ventre **vetor** Qualquer quantidade associada a uma dada direção.

VHF (Very High Frequency) Faixa de frequências que se estende de 30 a 300 MHz.

viscosidade Resistência que todo fluido oferece ao movimento relativo de qualquer de suas partes.

voltagem Medida em volts, é a diferença de potencial elétrico, ou de força eletromotiva entre dois pontos considerados. Pode ser resumida como a diferença de magnitude de campo elétrico entre dois pontos.

A voltagem de 1 volt é a que produz uma corrente elétrica de 1 ampère sobre uma carga de 1 ohm.

Assim

$$1 \text{ Volt} = 1 \text{ ohm} \times 1 \text{ ampère} = \frac{1 \text{ watt}}{1 \text{ ampère}} = \frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ ampère} \times 1 \text{ segundo}} = \frac{1 \text{ Kg} \times \text{m}^2}{\text{s}^3 \times 1 \text{ ampère}}$$

voltagem de ruptura Voltagem máxima que pode suportar um isolamento elétrico ou dispositivo, antes que sua estrutura seja rompida. Recomenda-se que isolantes, componentes e dispositivos trabalhem com uma capacidade de voltagem de ruptura no mínimo duas vezes maior do que a voltagem com que vão operar.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

apêndice B
**sistemas de alta impedância/
voltagem constante**



APÊNDICE B - SISTEMAS DE ALTA IMPEDÂNCIA/VOLTAGEM CONSTANTE

B.1 INTRODUÇÃO

B.2 FUNDAMENTOS DA ALTA IMPEDÂNCIA/VOLTAGEM CONSTANTE

B.2.1 Padronização de Voltagem B.2.2 Impedância de Carga Nominal B.2.3 Qual é a Potência Ideal Para o Amplificador de 70,7 Volts?

B.2.4 Configuração dos Sistemas Alta Impedância/Voltagem Constante B.3

CONCEITUAÇÃO TÉCNICA B.3.1 Trabalhando em Função de Resultados B.3.1.1 Inteligibilidade B.3.1.2 Boa Distribuição Acústica B.3.1.3 Resposta de Frequência Adequada B.3.1.4 Nível de Pressão Sonora Otimizado B.3.2 Perdas

B.3.2.1 Perdas em Linha (PL) B.3.2.2 Perda por Inserção (PI) B.3.2.3 Perdas com a Distância (DD_x) B.3.4 Sensibilidade Axial dos Alto-falantes B.3.5 Potência Elétrica Necessária por Alto-Falante B.3.6 A Mais Importante de Todas as Regras B.3.7 Como Calcular os Transformadores de Linha para Bobina Móvel B.4 TIPOS DE ALTO-FALANTES UTILIZADOS EM SISTEMAS AIVC

B.5 A CENTRAL DE SOM

B.6 RECURSOS POSSÍVEIS

B.6.1 Controle Individualizado de Volume B.6.2 Controle Regionalizado de Volume B.6.3 Independência das Linhas ou Partes Delas B.6.4 Níveis de Programação e Canais de Áudio B.6.5 Gongo

B.6.6 Setorização B.6.7 Avisos e Chamadas Forçadas B.6.8 Equalização B.6.9

Monitoração B.6.10 Substituição Manual de Amplificador com Defeito B.6.11

Substituição Automática de Amplificador Com Defeito B.6.12 Controle Automático de Ganho B.6.13 Microfones B.6.13.1 Teclas APF

B.6.13.2 Remotos B.6.13.3 Prioridades B.6.14 Geração de Tons Especiais B.6.15 Distribuição Voltada para a Otimização da Confiabilidade B.6.16 Transformadores Tapeados B.7 INSTALAÇÃO

B.7.1 Aspectos Preliminares B.7.2 Normas e Práticas Aplicáveis B.7.3 Instrumental Necessário B.8 MANUTENÇÃO

B.9 DOCUMENTAÇÃO

B.10 A PANACÉIA E OS EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS NO MERCADO

B.1 INTRODUÇÃO

Este apêndice é uma coletânea de trechos retirados do Boletim Volume 1, Número 12, editado pela Cysne Sound Engineering.

Sistemas de distribuição de música funcional, sistemas de busca pessoas por chamadas através de alto-falantes, sistemas de divulgação de avisos e mensagens, e outros tantos do mesmo gênero, também chamados de PA, para “Public Address”, caracterizam-se pelo emprego de uma grande quantidade de alto-falantes.

Difícilmente não menos do que 40. E a rigor, não há um limite máximo para essa quantidade. Há sistemas instalados com dezenas de alto-falantes, outros com centenas, e mesmo muitos com milhares deles.

Essa particular condição de arquitetura eletroacústica pode ser melhor assimilada se lembrarmos que as típicas aplicações desses sistemas estão invariavelmente voltadas para grandes instalações prediais, como shopping centers, hotéis, hospitais, escolas, lojas de departamentos, prédios e centros comerciais, indústrias e usinas, aeroportos, rodoviárias, clubes, parques temáticos e complexos de grande porte em geral.

Inicialmente, os pequenos sistemas projetados para atender a esse tipo específico de necessidade tinham os alto-falantes associados em série-paralelo, com as ligações calculadas para que a impedância resultante ainda pudesse ser compatível com as características próprias dos amplificadores de baixa impedância, tal como os conhecemos hoje.

Embora essa maneira primitiva de arranjar sistemas pudesse funcionar, suas óbvias desvantagens se faziam sentir tanto mais quanto maior era o sistema.

Primeiro, que por trabalhar com baixas impedâncias nas ligações dos falantes, as perdas nas linhas, que já eram naturalmente elevadas, podiam atingir proporções que beiravam a inviabilidade prática para lances mais longos.

Segundo, que as instalações eram extremamente complexas, deixando cicatrizes profundas que, de um ou de outro modo, tinham que ser obrigatoriamente absorvidas durante os serviços de manutenção. Sempre acompanhados dos correspondentes ônus elevados.

Terceiro, que os preços desses sistemas eram astronômicos, e sabia-se, apenas por falta de melhores alternativas.

Quarto, que a pouca flexibilidade era sua marca registrada. Por exemplo, bastava que se quisesse instalar mais um ou alguns falantes em um sistema já existente e operacional, e a encrenca estava armada. Essa pretensão, aparentemente modesta e natural, exigia um mundo de cálculos. Os quais muitas vezes mostravam a impossibilidade concreta de se adicionar qualquer coisa ao sistema, a não ser que o mesmo sofresse uma verdadeira cirurgia de profundidade. O equivalente a desmantelá-lo por completo e refazê-lo com nova configuração.

Isso não é tudo, mas já é o suficiente para nos dar uma clara idéia do conjunto de dificuldades de que esses antigos sistemas eram portadores. O que impossibilitava sua implantação em ambientes realmente grandes.

Todo esse quadro de obstáculos se combinava com uma impressionante demanda de mercado.

O que fez com que os técnicos passassem a pensar numa fórmula bem mais simples. Certamente mais eficaz, flexível, e acima de tudo, econômica. Que possibilitasse a implantação de sistemas de quaisquer portes, com resultados práticos realmente muito superiores em relação ao que havia até então.

O embrião da concepção pretendida indicava que os falantes deveriam ser ligados em paralelo, diretamente nos condutores provenientes dos amplificadores. Deveria ser possível trabalhar com falantes de tipos diferentes, cada qual operando com nível de energia de modo independente dos demais.

Além disso, deveria ser possível adicionar ou retirar falantes do sistema sem que isso implicasse em cálculos extras. Deveria ser apenas uma questão de adicionar e retirar. Apenas isso.

O primeiro método proposto nesse sentido era algo que já vinha sendo testado e empregado há algum tempo pela EIA (Electronic Industries Association). Mais tarde universalizado com sua adoção generalizada por incontáveis fabricantes espalhados pelo mundo.

Estamos falando do que se convencionou chamar Alta Impedância/Voltagem Constante (AIVC), que é apenas um método desenvolvido para permitir que muitos alto-falantes pudessem ser ligados em paralelo na linha proveniente de um amplificador, denominada linha de transmissão.

Naturalmente, o método prevê como casar as impedâncias dos alto-falantes de modo a preservar a consistência técnica do sistema. O truque é ligar cada alto-falante à linha através de um transformador, por isso mesmo chamado de transformador de linha para bobina móvel.

Os enrolamentos primários dos transformadores são os que vão ligados à linha. Construindo-os com impedâncias elevadas, a ligação de vários deles em paralelo ainda dá como resultado uma impedância relativamente elevada.

As maiores vantagens do método são a grande redução dos cálculos eletroacústicos necessários, em quaisquer condições, e uma dramática simplificação nos serviços de instalação e de manutenção.

O método AIVC baseia-se no uso de amplificadores com circuitações especiais de saída que, sob determinadas condições, são capazes de apresentar uma voltagem constante entre seus terminais de saída.

Embora haja diferentes padrões de tensão constante, de longe o mais comum é 70,7 volts, por essa razão tida como o padrão dos padrões.

O valor 70,7 volts foi estabelecido pelo Underwriters Laboratories após muita pesquisa, e sua formulação levou em conta diversos fatores, mas principalmente as tensões máximas toleradas pelas autoridades norte-americanas para condutores elétricos não protegidos por eletrodutos.

Antes mesmo de prosseguir com este assunto é prudente recapitularmos dois aspectos conceituais.

Inicialmente, vamos lembrar que a potência elétrica (P) em watts pode ser aproximadamente determinada calculando-se o produto da tensão (V) em volts pela corrente elétrica (I) em Amperes. O que, matematicamente, pode ser escrito

$$P = V.I \quad (B.1)$$

Assim, 100 watts tanto podem ser o produto de 1 volt x 100 Amperes, quanto o de 100 volts x 1 Ampère. OK? Não podemos esquecer que a passagem de energia elétrica por um condutor produz calor. Ou seja, quando uma corrente elétrica circula por um condutor, há conversão de potência elétrica em calor. Essa perda recebe o nome de efeito Joule. Ele pode ser calculado através da expressão

$$JQ = R.I^2.\Delta t \quad (B.2)$$

onde

• JQ é a quantidade de calor dissipado • R é a resistência elétrica do condutor percorrido pela corrente • I é a intensidade da corrente elétrica, e • t o tempo durante o qual a corrente circula pelo condutor A expressão B.2 mostra claramente que no cálculo da perda a corrente elétrica entra nos cálculos elevada ao quadrado. Mesmo sem fazer muita força constatamos que no caso da potência obtida com 1 volt e 100 Ampères, o multiplicador resultante desta intensidade de corrente para cálculo do efeito Joule é 10.000. E que no caso da potência obtida com 100 volts e 1 Ampère o multiplicador é apenas 1. Isto é, 10.000 vezes menor.

Podemos concluir que, para a mesma potência, quanto menor for a corrente elétrica e mais elevada for a voltagem, menores serão as perdas na transmissão. É exatamente por esse motivo que as transmissões de energia elétrica a grandes distâncias são feitas com voltagens muito elevadas, como 750.000 volts.

O segundo conceito que quero lembrar é o da impedância. Ou ao menos rever como calculá-la. Para qualquer amplificador de áudio, a impedância da carga pode ser aproximadamente calculada por quaisquer das expressões seguintes:

$$Z = \frac{V^2}{P} \quad (B.3)$$

$$Z = \frac{V}{I} \quad (B.4)$$

$$Z = \frac{P}{I^2} \quad (B.5)$$

em todas essas expressões • Z é a impedância em • V é a voltagem produzida pelo amplificador em volts • I a intensidade de corrente elétrica que circula pela carga em Ampères, e • P a potência elétrica de saída do amplificador em watts

B.2 FUNDAMENTOS DA ALTA IMPEDÂNCIA/VOLTAGEM CONSTANTE

B.2.1 Padronização de Voltagem

Padronizar um valor qualquer de voltagem, como 70,7 volts, significa que independentemente da potência de saída que os amplificadores podem entregar, as voltagens de saída deverão ser sempre as mesmas para quaisquer amplificadores. No caso, 70,7 volts.

A figura B. 1 mostra um amplificador de 70,7 volts alimentando sua carga.

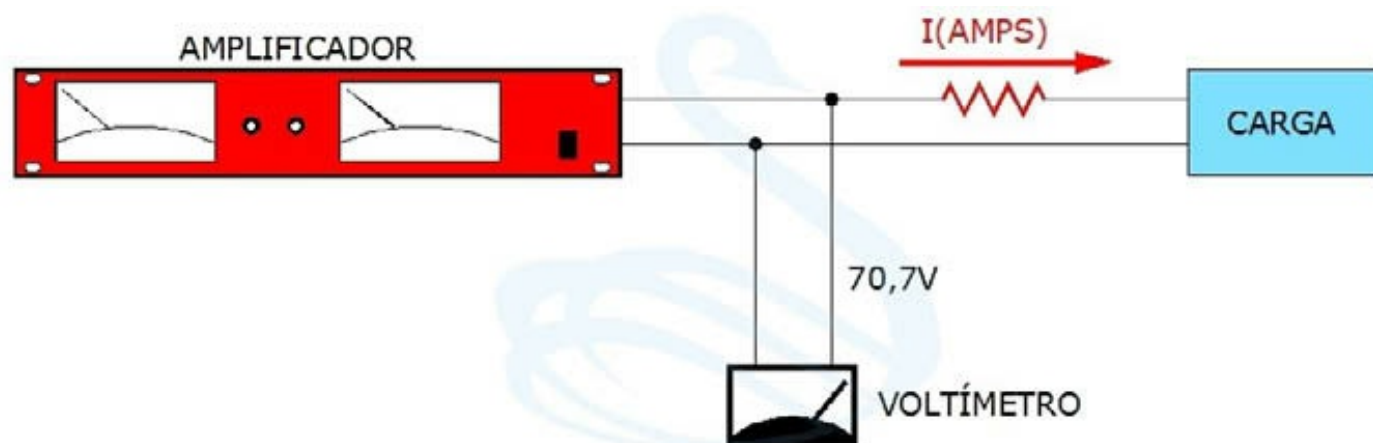


figura B.1 amplificador AIVC com sua carga acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Padronizar um valor qualquer de voltagem, como 70,7 volts, significa que independentemente da potência de saída que os amplificadores podem entregar, as voltagens de saída deverão ser sempre as mesmas para quaisquer amplificadores. No caso, 70,7 volts.

A figura B. 1 mostra um amplificador de 70,7 volts alimentando sua carga.

A potência que o amplificador é capaz de fornecer pode ser calculada através do produto da voltagem, no caso 70,7 volts, pela corrente elétrica sobre a carga. E assim é possível montar a tabela B.1

tabela B.1

VOLTAGEM VOLTS	CORRENTE AMPÈRES	POTÊNCIA WATTS
70,7	0,28	20
70,7	0,56	40
70,7	0,85	60
70,7	1,13	80
70,7	1,41	100
70,7	1,70	120
70,7	2,83	200

Vemos que ao contrário da voltagem, que é mantida constante, a corrente elétrica aumenta com a potência do amplificador.

O termo **linha de 70,7 volts** não significa que a voltagem na linha é sempre 70,7 volts. De fato, essa é a máxima voltagem que o amplificador é capaz de fornecer. O que só ocorre quando ele é operado a sua potência nominal de saída, e quando está trabalhando com sua impedância de carga nominal.

B.2.2 Impedância de Carga Nominal Lançando mão da expressão B.3, e considerando-se amplificadores de 70,7 volts, pode-se tabular os valores de impedância de carga indicados na tabela B.2

tabela B.2

POTÊNCIA WATTS	IMPEDÂNCIA OHMS
20	250,0
40	125,0
60	83,3
80	62,5
100	50,0
120	41,7
200	25,0

B.2.3 Qual é a Potência Ideal Para o Amplificador de 70,7 Volts?

É intuitivo que quanto menor é a potência nominal de um amplificador, maior é o seu preço por watt.

Por outro lado, vimos que quanto maior é a corrente elétrica (ao que equivale dizer, quanto menor é a impedância de carga) que passa por um circuito, maiores são as perdas de energia.

Vamos ver isso com um exemplo prático. Seja um amplificador que alimenta sua carga através de um condutor com resistência própria de 4 ohms. Imagine 3 situações possíveis: • amplificador de 70,7 volts, 100 watts • amplificador de 70,7 volts, 200 watts • amplificador convencional de baixa impedância (4 ohms), 200 watts A figura B.2 ilustra as três situações do exemplo

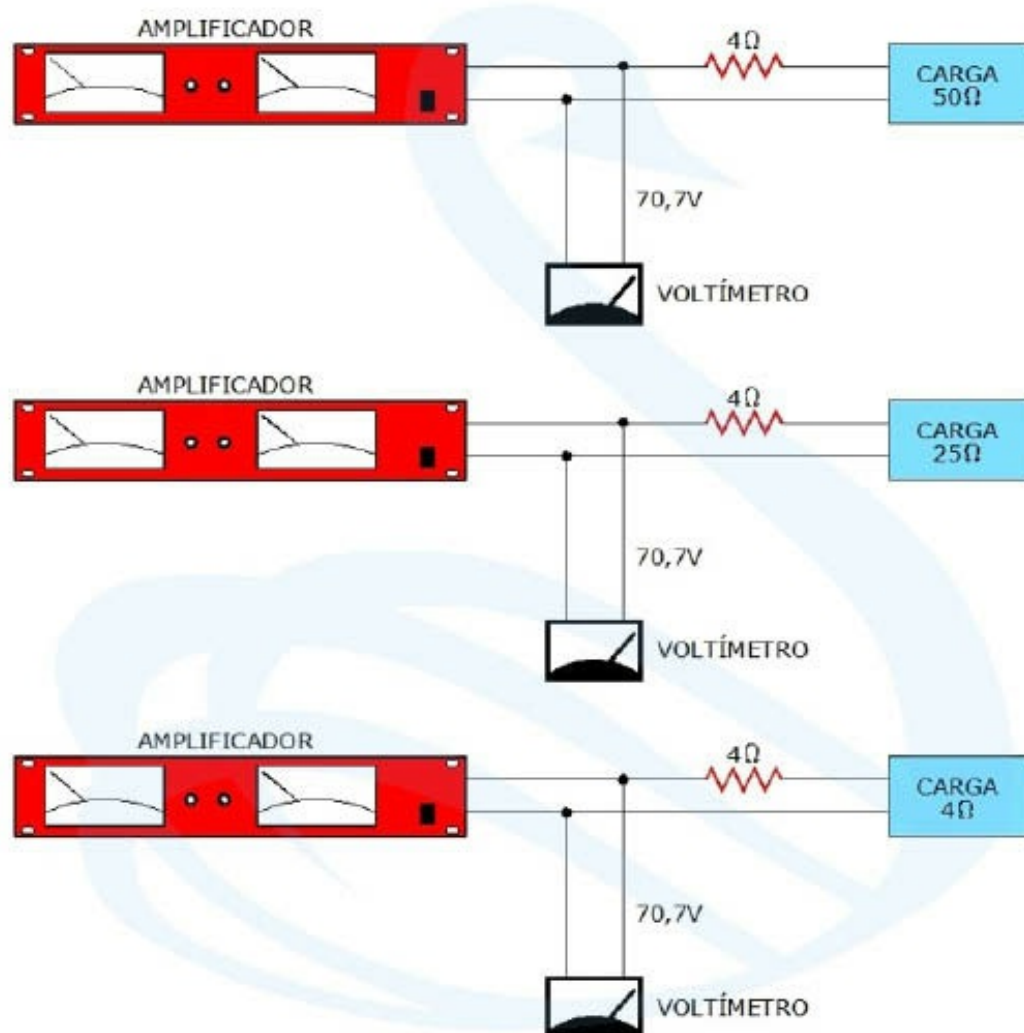


figura B.2 as três hipóteses do exemplo do item B.2.3

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se conhecemos a impedância de carga e a impedância ou resistência ôhmica de uma determinada linha, podemos calcular a perda nessa mesma linha, expressa em dB. Ou seja, a potência elétrica gerada pelo amplificador de potência que acaba sendo transformada em calor por efeito da própria impedância da linha. Calculamos

$$\text{Perda em dB} = \frac{Z_{\text{CARGA}}}{Z_{\text{CARGA}} + Z_{\text{LINHA}}} \quad (\text{B.6})$$

Para nossas três situações temos o conjunto de parâmetros da tabela B.3

tabela B.3

POTÊNCIA DO AMPLIF WATTS	Z OHMS	PERDA dB	PERDA %	PERDA WATTS	POTÊNCIA NA CARGA WATTS
100	50	0,67	14,3	14,3	85,7
200	25	1,29	25,7	51,4	148,6
200	4	6,00	75,0	150,0	50,0

Estes dados mostram claramente duas coisas.

A primeira, mais importante no momento, é que quanto maior é a potência do amplificador de 70,7 volts, ou qualquer outra voltagem que queiramos tomar como referência, maior é o

percentual de energia perdida.

Talvez o termo desperdiçar seja mais adequado para este caso.

Quando se exhibe graficamente a combinação disto com o custo crescente por watt de amplificadores de baixa potência, a curva é a da figura B.3.

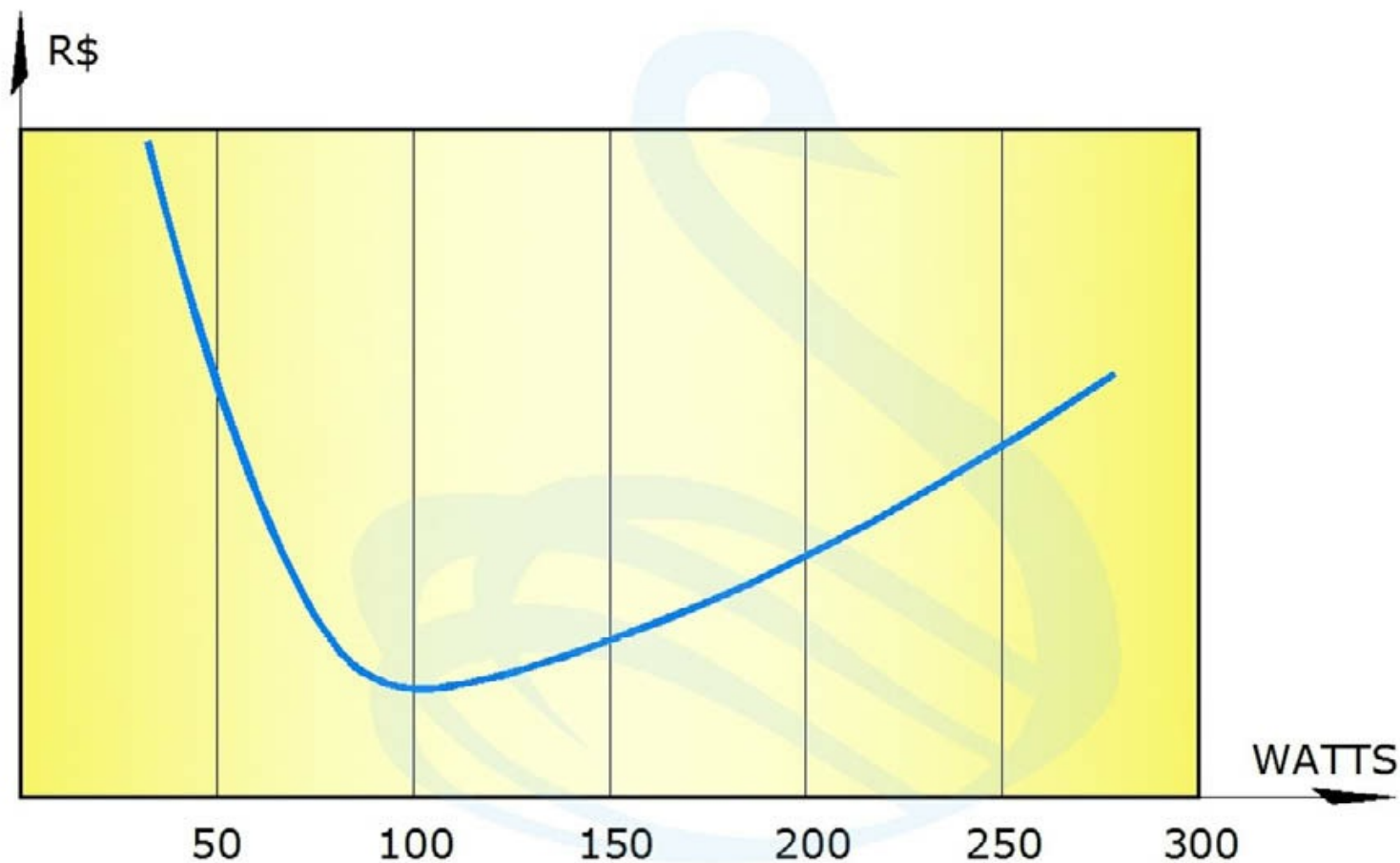


figura B.3 custo por watt em função da potência de saída do amplificador, aí considerada a perda
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nota-se que, tudo computado, o menor custo por watt é obtido com amplificadores com potência da ordem de 100 watts.

É por essa razão que a grande maioria dos fabricantes internacionais de amplificadores de 70,7 volts produz aparelhos de 100 watts, considerado como uma espécie de nível ideal de potência.

Os dados da tabela B.3 também deixam clara uma das razões pelas quais amplificadores convencionais de baixa impedância não devem ser utilizados em sistemas com grande quantidade de alto-falantes.

B.2.4 Configuração dos Sistemas Alta Impedância/Voltagem Constante A figura B.4 mostra uma típica configuração alta impedância/voltagem constante, com o amplificador operando uma carga constituída por diversos alto-falantes.

Cada um destes é ligado na linha de transmissão através de seu próprio transformador de linha para bobina móvel.

Nota-se que todas as seções primárias dos transformadores de linha para bobina móvel são associadas em paralelo.

O critério técnico mais importante a observar é que a impedância resultante dessa associação não seja inferior à impedância nominal de carga com a qual o amplificador pode trabalhar. Isto não é difícil de imaginar, se consideremos o fato de que as impedâncias primárias dos transformadores são sempre relativamente elevadas.

Veremos adiante como calcular estas impedâncias. De qualquer modo, a condição de impedância de carga superior ou igual à impedância nominal de carga com a qual o amplificador pode trabalhar garante que a potência elétrica drenada pela linha é inferior, ou no máximo igual à potência nominal do amplificador, respectivamente.

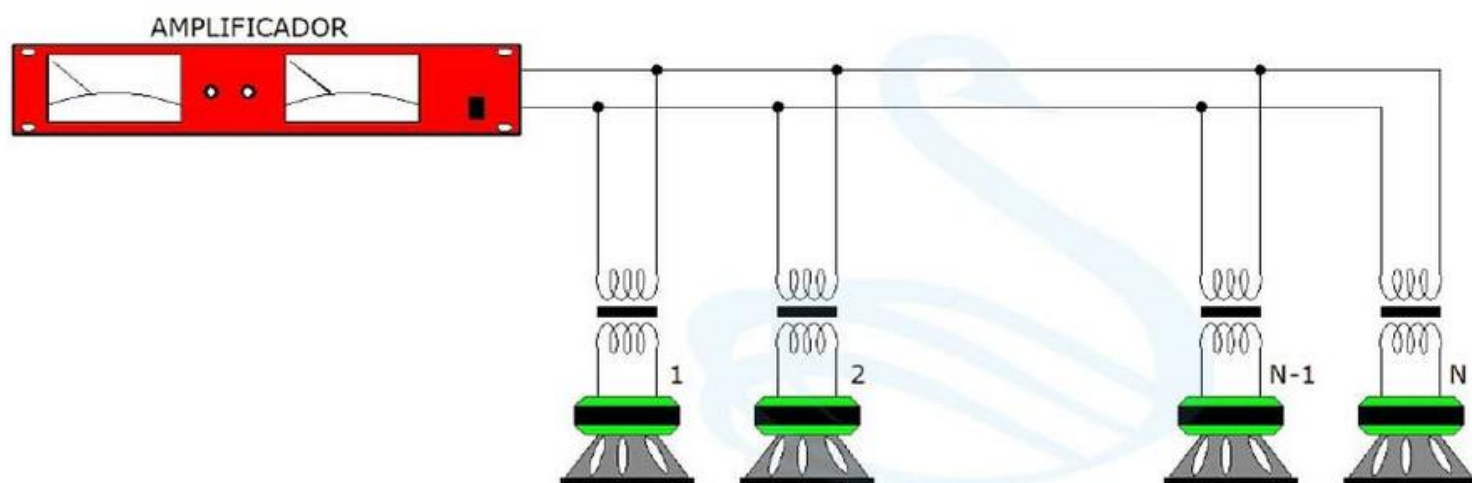


figura B.4 amplificador AIVC operando com sua carga típica, diversos falantes associados em paralelo
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Do ponto de vista de instalação, os alto-falantes e seus
transformadores são ligados à linha de transmissão como se ligam lâmpadas a uma linha de energia
CA.

Uma das principais vantagens dos sistemas AIVC é que, observado o limite técnico de dreno máximo de potência de cada amplificador, pode-se ligar literalmente quaisquer quantidades de alto-falantes/transformadores numa linha de transmissão. Iguais entre si ou não. Isto é, podem ser alto-falantes individualmente drenando potências iguais ou diferentes da linha. Essa é a razão principal pela qual se considera que a flexibilidade dos sistemas AIVC é muito elevada. O leitor mais atento já terá percebido que, uma vez que a voltagem entregue pelo amplificador de 70,7 volts é constante, a potência entregue a cada alto-falante pelos sistemas AIVC será sempre

$$P(\text{watts}) = \frac{(70,7)^2}{Z_{\text{PRIMÁRIO}}} \cong \frac{5.000}{Z_{\text{PRIMÁRIO}}} \quad (\text{B.7})$$

sendo

- $Z_{\text{PRIMÁRIO}}$ é a impedância do enrolamento primário do transformador de linha para bobina móvel, em Isto é, o “volume “ em cada alto-falante independe da quantidade dos demais alto-falantes utilizados, mas apenas da impedância primária de seu transformador.

B.3 CONCEITUAÇÃO TÉCNICA B.3.1 Trabalhando em Função de Resultados Como para qualquer outro sistema de sonorização, para os AIVC há alguns objetivos de resultado que devem ser obtidos, sob pena do sistema deixar de atender à sua função precípua. Entre esses, os principais são:

- Inteligibilidade elevada
- Boa distribuição acústica
- Resposta de frequência adequada
- Nível de pressão sonora otimizado

B.3.1.1 Inteligibilidade Já vimos como calcular a inteligibilidade de um sistema de sonorização no capítulo 6. Tudo aquilo é inteiramente aplicável aos sistemas AIVC.

Uma vez que esse apêndice trata exclusivamente de sistemas AIVC, convém frisar que para a grande maioria das aplicações, o requisito Inteligibilidade é de importância vital.

Um dos empregos mais comuns dos sistemas AIVC é para distribuir música funcional.

Na maioria desses casos, os sistemas também são empregados para localizar pessoas e divulgar avisos e mensagens.

Também é crescente a quantidade de sistemas com funções múltiplas, utilizados de forma integrada com sistemas de supervisão e controle predial em prédios comerciais.

Destas muitas funções, certamente a menos utilizada, mas ainda assim, a mais importante de todas, é a de avisos e orientação ao público em casos de emergência, como invasões do prédio, incêndios, e dependendo da região onde o sistema é implantado, também de terremotos.

Percebe-se então o quanto a inteligibilidade é importante de um sistema com tais aplicações.

B.3.1.2 Boa Distribuição Acústica Nosso dado de partida é sempre uma grande quantidade de áreas a sonorizar. Essa é a principal característica de aplicação dos sistemas AIVC.

Em geral, a maioria dessas áreas possui pé direito relativamente modesto. O que praticamente implica em obter a cobertura acústica com falantes distribuídos.

Como discutimos no capítulo 6.

A quantidade final de alto-falantes a ser especificada em cada projeto depende essencialmente das áreas que se quer atender, dos pés direitos de cada uma dessas áreas, e também, da forma escolhida para a distribuição da energia.

Quando essa forma for mesmo a de falantes distribuídos, recomendo que não se empregue

nada mais rarefeito do que as variantes dos padrões quadrado ou hexagonal, também avaliadas no capítulo 6.

É falsa a idéia de que é cara a utilização de muitos falantes especificados para atender padrões de cobertura acústica, dentro de critérios tecnicamente corretos.

De um modo geral, a energia total utilizada para um determinado ambiente é aproximadamente a mesma, independentemente de quantos alto-falantes são empregados.

Maiores quantidades de alto-falantes apenas significam que cada falante opera com menor nível de energia do que em casos com menor quantidade de falantes.

Assim, falantes operando com menores níveis de energia custam menos de que os que operam com níveis mais elevados, o que também é aplicável aos transformadores. Porquanto não há diferença entre as potências elétricas totais utilizadas nos dois casos, também não há diferenças de preços com os amplificadores.

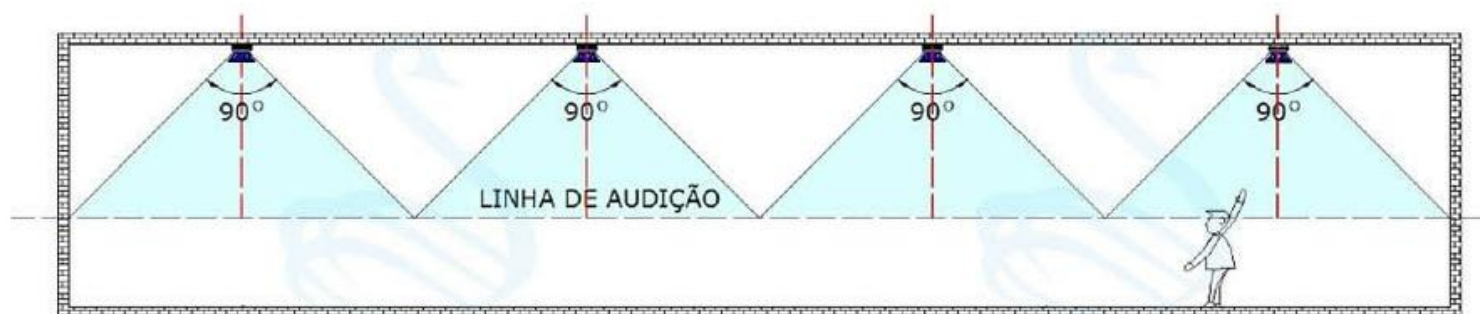


figura B.5 distância entre centros de falantes, em relação à altura entre eles e a linha de audição
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Mais falantes com níveis inferiores de energia geralmente possibilitam obter excelentes resultados na homogeneidade do campo acústico final. E o mais importante, com aumentos marginais de preços.

Assim, a distância de centro a centro entre alto-falantes deverá ser no máximo igual ao dobro da distância altura medida entre a face inferior do alto-falante e o nível de audição das pessoas.

Como mostra a figura B.5, que procura ilustrar uma situação bastante típica e facilmente encontrada no dia a dia.

B.3.1.3 Resposta de Frequência Adequada Devemos entender que sistemas de distribuição de música ambiente não são propriamente sistemas de alta fidelidade, com suas necessidades de respostas de 20 Hz a 20 kHz, ou mais.

E sistemas destinados a reforçar vozes em casos de avisos, mensagens e chamadas devem ter suas respostas de frequência condicionadas, pois o espectro da voz humana também é limitado.

Desse modo, resposta de frequência adequada é sinônimo de operar com um espectro tal que não comprometa a inteligibilidade, e que também não soe pouco natural, como um radinho de pilha sintonizado em AM.

Os espectros mais comumente utilizados nos sistemas AIVC são limitados nas baixas frequências entre 80 e 200 Hz, e nas altas entre 12 e 17 kHz.

B.3.1.4 Nível de Pressão Sonora Otimizado Há sempre um Nível de Ruído Ambiente típico para cada ambiente. Como um restaurante, um cinema, ou qualquer outro.

Também já vimos no capítulo 6 que a inteligibilidade de qualquer sistema de sonorização depende de quanto o nível do som reforçado pelo sistema é superior ao NRA no local considerado.

Vimos também que essa diferença depende muito do tempo de reverberação e da inteligibilidade que se deseja obter.

Se o som amplificado for apenas marginalmente superior ao NRA, é provável que a inteligibilidade resultante seja sofrível. Especialmente se o tempo de reverberação for elevado.

Diante disso, é preciso destacar que há muitos locais onde o NRA pode variar bastante de dia para dia, e mesmo em função da hora do dia.

Assim, uma das alternativas é estabelecer um nível de pressão sonora de programa elevado o suficiente para possibilitar a inteligibilidade diante de quaisquer condições de NRA. Sem dúvida, isso é algo que realmente funciona. Entretanto, é uma atitude de projeto tipo força bruta, e que, na prática, certamente vai provocar muitas reclamações quando o NRA for moderado. Idéia melhor é variar o nível de pressão sonora de acordo as variações do NRA.

Naturalmente, sempre dentro de certos limites.

Ou seja, quando o NRA for mais baixo, o nível de pressão sonora também deverá ser correspondentemente mais baixo. E quando o NRA se elevar, o reforço também será elevado na mesma proporção, até um certo limite.

Veremos no item B.6.12 como obter essa facilidade.

O nível mínimo de pressão sonora para programas processados por quaisquer sistemas AIVC é exatamente igual à soma do NRA com a relação sinal/ruído mínima exigida para que haja boa inteligibilidade.

O NRA pode ser medido para qualquer ambiente, sendo a forma mais comum de expressá-lo aquela com ponderação “A”. Isto é, a figura dBA.

Mas pelo que vimos acima, muitas vezes não é possível determinar um único NRA “médio” para representar uma condição em que as variações de NRA são significativas. Nesses casos, é preciso obter um mapeamento completo de como se desenvolve o NRA ao longo do tempo, e também, em diferentes locais.

Por exemplo, as praças de alimentação dos shopping centers costumam apresentar figuras

moderadas de NRA durante todo o dia. Mas durante os horários de almoço e de jantar, a figura pode assumir valores extremamente elevados.

Em compensação, em outros locais dos mesmos shoppings, áreas mais tumultuadas durante todo o dia, e outras, podem apresentar baixos NRA nos horários das refeições.

Assim, os níveis de pressão sonora especificados geralmente são superiores ao mínimo possível, que é a soma do NRA com a Relação Sinal/Ruído.

Oportuno mencionar que em sistemas AIVC mistos, utilizados para distribuir música funcional e gerar chamadas, avisos e mensagens, é sempre prudente que os níveis de reforço de voz sejam superiores aos das programações musicais. Tipicamente, entre 6,0 a 8,0 dB.

Não podemos nos esquecer que os sistemas AIVC também exigem Margens para Picos e Transientes, tal como vimos no capítulo 6.

Para os sistemas AIVC, padrões internacionais sugerem uma TPM mínima de 10,0 dB para reforço de voz, que pode ser apenas 6,0 dB quando há compressão dinâmica dos sinais provenientes dos microfones.

Uma vez que a geração de chamadas, avisos e mensagens nos sistemas AIVC é geralmente feita em cabines técnicas muito afastadas dos falantes, usualmente não há necessidade de preocupação com a FSM, também discutida no capítulo 6.

B.3.2 Perdas

B.3.2.1 Perdas em Linha (PL) Vimos anteriormente que os cabos de ligação impõem uma perda de potência elétrica. Seu nome técnico é perda em linha (PL). Isso ocorre porque, independentemente de seu comprimento físico e de sua bitola, qualquer cabo apresenta uma resistência elétrica determinada, que é vista pelo amplificador como uma resistência em série com a impedância da carga.

Num sistema bem dimensionado, as perdas em todas as linhas são aproximadamente as mesmas, e os cabos devem ser selecionados para que estas perdas atinjam um valor não superior a 1,0 dB, e na pior das hipóteses, 1,5 dB.

Convém lembrar que, tomando 100 watts como referência, perder 1,0 dB é desperdiçar 20,6 watts, e perder 1,5 dB é desperdiçar 29,2 watts. Dimensionar essas perdas significa escolher a bitola do cabo de cada linha em função de seu comprimento.

Como resultado, num sistema com várias linhas de comprimentos diferentes, são usados cabos de várias bitolas.

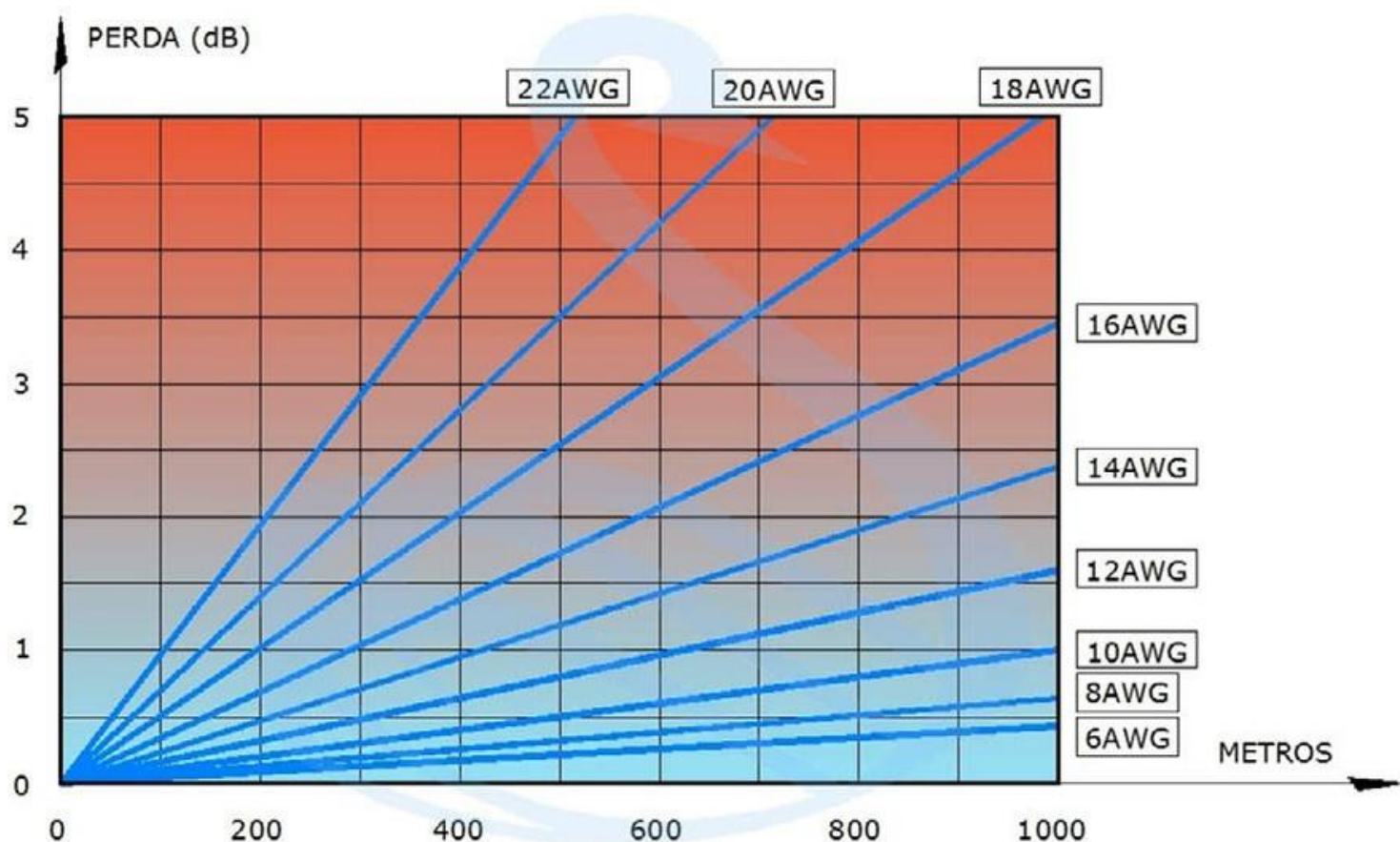


figura B.6 perdas em linhas em função de seus comprimentos e das bitolas dos cabos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne De outra forma, as perdas seriam diferentes, o que prejudicaria a boa distribuição acústica e sua consistência ao longo de todas as áreas atendidas pelo sistema.

O gráfico da figura B.6 pode ser usado para determinar diretamente da bitola dos cabos. Basta que entremos com o comprimento da linha e com a perda especificada em dB.

B.3.2.2 Perda por Inserção (PI) Por melhor que seja qualquer transformador, o simples fato dele ser utilizado, como mostra a figura B.4, implica numa perda de energia chamada perda por inserção (PI). Isto é, apenas uma das leis naturais da física.

Ou seja, a energia que se obtém na saída de qualquer transformador é sempre inferior à energia que se entrega a ele.

A perda por inserção tende a diminuir nos transformadores maiores. Como na maioria dos sistemas AIVC os transformadores são pequenos, esta perda deve ser uma preocupação permanente do projetista.

Felizmente, a perda por inserção também depende bastante do projeto do transformador. Especialmente da qualidade da chapa utilizada em sua construção. Isto é, é algo que pode ser controlado.

Por isso, recomendo que transformadores de linha para bobina móvel empregados em sistemas AIVC sejam exclusivamente o resultado de bons projetos do próprio componente, e que a construção destes seja feita apenas com chapas de grão orientado (GO).

Nestas circunstâncias é possível obter perdas por inserção inferiores a 1,0 dB, contra

perdas de até perto de 3,0 dB, que caracterizam produtos de baixa qualidade.

Os noviciados em sistemas AIVC costumam ficar muito impressionados com a diferença de preço entre os bons transformadores, construídos com chapa GO, e os produtos medíocres.

Esta impressão aumenta quando a diferença de preço dos produtos é multiplicada pela quantidade total de transformadores a empregar num sistema.

Contudo, a diferença sozinha não nos diz absolutamente nada. É preciso compará-la com a economia de potência que os melhores transformadores propiciam, em comparação com os produtos de menor qualidade.

Apenas para exemplificar, vamos imaginar um sistema com 20 amplificadores de 100 watts. Cada uma das 20 linhas alimenta 20 alto-falantes. Isto é, a potência total é 2.000 watts, e uma quantidade de 400 alto-falantes. Há dois tipos de transformadores disponíveis, que podemos escolher. A PI imposta pelos de baixa qualidade é 3,0 dB, contra 1,0 dB dos produtos de boa lavra.

Se usarmos os transformadores de baixa qualidade estaremos desperdiçando 1.000 watts, ou - 3,0 dB em relação a 2.000 watts. E se usarmos os melhores, a perda total será de 411 watts, ou - 1,0 dB em relação aos mesmos 2.000 watts.

O preço da diferença da potência desperdiçada, isto é, 589 watts, equivalente a cerca de 6 amplificadores dos 20 especificados, é a figura que deve ser comparada com as diferenças de preço dos 400 transformadores.

Raciocínio análogo pode e deve ser aplicado à escolha das bitolas dos cabos e as perdas por eles impostas.

B.3.2.3 Perdas com a Distância (DD_x) Essas perdas são aquelas que discutimos no capítulo 6. Vimos os casos de campo aberto e de ambientes fechados.

B.3.4 Sensibilidade Axial dos Alto-falantes Outro parâmetro que já discutimos no capítulo 6.

Acabamos de ver que as respostas de frequência típicas dos sistemas AIVC são sempre limitadas. O quanto, é algo que depende apenas da aplicação de cada sistema.

Desse modo, é sempre uma vantagem ganharmos na sensibilidade axial dos alto-falantes, em detrimento de suas respostas de frequência. Claro que de forma a não comprometer o espectro especificado. Dessa forma, estaremos economizando potência elétrica sem prejudicar a resposta de frequência desejada.

Observe que sensibilidade axial não é sinônimo de eficiência. A sensibilidade axial não pretende apenas avaliar o percentual de energia elétrica que de fato é convertida em energia acústica. Assim é que falantes mais direcionais apresentam maiores sensibilidades axiais do que outros, de mesma eficiência, mas menos direcionais.

B.3.5 Potência Elétrica Necessária por Alto-Falante Para que um sistema AIVC seja bem dimensionado, é fundamental definir de modo tecnicamente correto a potência elétrica necessária (EPR) para cada um de seus alto-falantes.

O procedimento para isso é algo trabalhoso, mas fácil à luz das informações acima ventiladas, e de tudo o que vimos no capítulo 6.

Inicialmente, é preciso saber qual é o NRA do ambiente em questão. E adicionar a ele a relação sinal/ruído mínima para que tenhamos o grau desejado de inteligibilidade. Mas isso também não significa que é exatamente esse o nível a ser adotado.

Realmente, há ambientes que se caracterizam por NRA's muito baixos. E se apenas somarmos a eles nossas relações sinal/ruído, poderemos acabar com níveis de pressão sonora bastante subestimados.

Ao número resultante ainda precisamos adicionar a TPM.

Figuras internacionais de praxe sugerem não ser prudente adotar níveis médios de programa inferiores a 70 Lp em se tratando de música funcional, e de 76 Lp em casos de avisos, mensagens e chamadas. Isto, no plano de audição das pessoas.

A seguir, é preciso que saibamos quais são nossas perdas de linha e por inserção. Para se estabelecer as perdas nas linhas é preciso conhecer as distâncias envolvidas e ter escolhido os cabos e transformadores de acordo. Ou, inversamente, estabelecer as máximas perdas (PL e PI) aceitáveis, e escolher cabos e transformadores.

O próximo passo é saber a que distância axial os alto-falantes estão do plano de audição das pessoas. Com esse dado, com as informações de relação de diretividade (Q) dos falantes, e com as figuras S, as perdas com a distância (DD_x) podem ser estabelecidas.

Em caso de dificuldades para determinar esta perda, adote a fórmula simplista de perda em campo aberto, que ao mesmo tempo é conservadora.

Em seguida, é preciso conhecer a sensibilidade axial (Sensax) de cada alto-falante a utilizar.

Se tiver dúvidas com relação a isso, há duas opções: fazer as medições ou perguntar ao fabricante. O cálculo da Potência Elétrica Necessária é feito com o auxílio da expressão

$$EPR = NP + TPM + PL + PI + \Delta D_x - \text{Sensax} \quad (B.8)$$

onde

- EPR é a potência elétrica necessária por falantes, em dBW
- NP é o nível médio de programa em LP
- TPM é a margem para picos e transientes em dB
- PL é a perda na linha do falante em questão, em dB
- PI é a perda por inserção do transformador utilizado com o falante em questão, também em dB
- DDX é a perda com a distância para o caso específico do falante em questão, em dB, e
- Sensax é a sensibilidade axial do falante em LP/0dBW/1m.

Um exemplo nos dará uma visão prática de como tudo isso funciona. Queremos um NP de 81 Lp com TPM de 10,0 dB. Especificamos PL de 1,0 dB e também queremos PI igual a 1,0 dB. Arbitramos uma distância Dx de 2 metros e podemos calcular $Dx = 20 \log 2m = 6,0 \text{ dB}$.

A Sensax do falante que pretendemos usar é 96 Lp/0 dBW/m.

Calculamos então

$$EPR = 81 + 10 + 1 + 1 + 6 - 96 = 3,0 \text{ dBW}$$

Para converter os 3,0 dBW em watts calculamos

$$(10)^{\frac{3}{10}} = 2,0 \text{ watts}$$

Essa é a potência elétrica que o amplificador deverá ser capaz de entregar apenas para o alto-falante calculado. O mesmo é válido para todos os outros que estão em condições semelhantes.

Se nossos cálculos foram feitos corretamente, dos 2 watts, 0,41 serão perdidos na linha (1,0 dB). O transformador receberá apenas 1,59 watts. Mas em função da perda por inserção, apenas 1,26 watts serão entregues ao falante.

Ora, 1,26 watts é 1,0 dB acima de 1 watt. Assim, a 1 metro do falante, e em seu eixo principal, ao invés de termos os 96 Lp teremos $96 Lp + 1 \text{ dB}$, isto é, 97 Lp. Com a perda de 6,0 dB na distância de 2 metros, chegaremos ao nível de audição com $97 Lp - 6 \text{ dB} = 91,0 Lp$.

Deve-se compreender que o nível de programa, para o qual o sistema deve ser ajustado, é 81 Lp, ficando os demais 10,0 dB como TPM.

Esse mesmo cálculo deverá ser feito individualmente para cada um dos falantes com característica diferente dos demais, ou com diferente conjunto de parâmetros.

Seja por diferentes perdas de linha ou por inserção, por diferentes Sensax, ou por diferentes distâncias entre falante e nível de audição, e também, porque diferentes áreas de um sistema podem exigir diferentes níveis de pressão sonora. Portanto, determinando também

diferentes níveis de potência elétrica para os alto-falantes.

B.3.6 A Mais Importante de Todas as Regras Conhecendo a quantidade de alto-falantes que um determinado sistema AIVC deve utilizar, e que potências elétricas é preciso destinar a cada um deles, e ainda, que potência elétrica cada amplificador é capaz de entregar, já é possível alocar grupos de alto-falantes a cada amplificador. Ou seja, determinar, para cada amplificador, quais serão os alto-falantes por ele energizados.

A primeira regra para se dar esse passo é fazer com que das interligações projetadas resulte a máxima economia de trajeto. Isso não se faz só para economizar cabos, mas também para reduzir as perdas nas linhas, o que torna o sistema mais racional em todos os sentidos.

Mas a regra mais importante a observar é que as interligações sejam tais que nenhum dos amplificadores seja exigido a ponto de trabalhar acima de seus níveis nominais de potência.

Se por um lado isto parece o óbvio, por outro é exatamente esta a regra mais desrespeitada em sistemas AIVC !!!

B.3.7 Como Calcular os Transformadores de Linha para Bobina Móvel Uma vez calculada a EPR para um alto-falante, é preciso definir que transformador de linha para bobina móvel deve ser empregado com esse alto-falante. O transformador adequado é aquele que drena da linha de transmissão a EPR calculada. Aliás, esta é apenas outra maneira de dizer qual é tarefa principal do transformador.

Já vimos que as linhas de transmissão impõem perdas de energia.

Mas para efeito de dimensionamento dos transformadores, e apenas para isso, tais perdas devem ser ignoradas.

Define-se inicialmente a impedância primária () do transformador. Como a voltagem na linha de transmissão é constante, e supondo-se que o valor seja 70,7 volts, calcula-se

$$Z_p = \frac{(70,7)^2}{P} \cong \frac{5.000}{P} \quad (B.9)$$

onde

- é a impedância primária do transformador expressa em ohms, e • P é a potência nominal do amplificador A tabela B.4 mostra alguns valores de para casos mais comuns de EPR

tabela B.4

POTÊNCIA (WATTS)	Z_P (OHMS)
1	5.000
2	2.500
3	1.667
4	1.333
5	1.000
10	500
15	333
20	250
25	200

O próximo parâmetro a ser definido é a impedância secundária (Z_s) do transformador. Aqui não há contas a fazer. Basta igualar seu valor ao da impedância do falante a ser utilizado. Em geral 4 ou 8 .

Neste ponto devo alertá-lo para um problema aparentemente inofensivo, mas que se desconsiderado, pode levar a consequências devastadoras para o sistema.

Alguns fabricantes de alto-falantes especificam valores de impedância nominal para alguns de seus produtos, acima do que deveriam. Por exemplo, alto-falantes com impedância real de 4 com impedância nominal especificada em 8 .

Isso é um truque não muito honesto de alguns fabricantes, levado a cabo para que os alto-falantes deem a impressão de que são mais sensíveis do que de fato são.

Se você cometer o engano de cair nessa, poderá assumir a especificação $Z_s = 8$ para um falante com impedância de, por exemplo, 4,8 .

E quando ligar o falante ao secundário do transformador, a impedância refletida do secundário para o primário será apenas pouco mais do que a metade do que deveria ser.

Imagine que a especificação de impedância primária do transformador, que você mesmo calculou, seja 1.000 . Na situação acima, a impedância real apresentada para o lado da linha de transmissão será apenas cerca de 600 .

Se isso acontecer com todos os alto-falantes, a linha de transmissão acabará apresentando ao amplificador pouco mais do que a metade da impedância de carga que deveria. Como 30 ao invés de 50 W.

Assim, você estaria violando a mais importante de todas as regras, sujeitando o

amplificador a um provável colapso, e reduzindo dramaticamente a confiabilidade do sistema.

Portanto, em caso de dúvida sobre a impedância nominal do falante, faça você mesmo a medição com todo o cuidado, o que é mais seguro, ou solicite esclarecimentos ao corpo técnico do fabricante.

B.4 TIPOS DE ALTO-FALANTES UTILIZADOS EM SISTEMAS AIVC

Muitos são os tipos de falantes empregados nos sistemas AIVC.

Destes, sem dúvida, os mais comuns são falantes tipo full range ou coaxiais com diâmetros nominais de 5, 6, 8, 10 e 12 polegadas, em forma de sonofletores ou de baffles de embutir.

Entretanto, estes tipos são para uso interno.

Para uso externo devem ser empregados sonofletores especificamente projetados para uso ao tempo.

De preferência com sensibilidade mais elevada e/ou maior capacidade de manipulação de potência, já que ambientes externos são caracterizados por NRA's mais elevados do que os ambientes fechados, e as distâncias envolvidas geralmente são maiores.

Para grandes distâncias, são sempre recomendadas cornetas, já que sua excepcional sensibilidade possibilita atingir distâncias elevadas.

Muitas vezes, o limite de distância não é imposto pela capacidade das cornetas, mas pelo fato de que essa perda não se dá da mesma forma para todas as frequências. O que prejudica a inteligibilidade.

Além disso, a distância é um dos parâmetros que entra no cálculo da inteligibilidade. E este pode ser o fator limitativo.

Mas mesmo com cornetas é preciso que se cuide da cobertura acústica. Isto é, deve-se pensar em projetar o campo acústico apenas sobre a área que se deseja cobrir. Do contrário, não só a inteligibilidade será inferior, mas também haverá desperdício de energia.

B.5 A CENTRAL DE SOM

Vimos anteriormente a configuração típica de interligação dos amplificadores com os alto-falantes em sistemas AIVC.

Agora, veremos a parte da Central de Som.

Sistemas destinados à difusão de música funcional operam com uma ou mais fontes de programação musical. Entre estas podem ser citadas o sintonizador de FM, o deck cassete, o reproduutor de CD's, decks de carretel aberto, DAT's (Digital Audio Tape), MD's, DCC's, e eventualmente, VCR's.

Quando são previstos avisos, mensagens e chamadas, é preciso utilizar um microfone,

geralmente equipado com tecla APF (Aperte Para Falar).

Assim, é imperativo usar um pré-amplificador para cada fonte que se pretende utilizar.

Cada um destes sinais deve poder ser atenuado ou reforçado individualmente, com recursos de monitoração para que os ajustes não sejam feitos como num vôo cego.

Uma vez pré-amplificados, os sinais devem poder ser misturados, o que é tarefa para um misturador de áudio.

A introdução de equalizadores é de suma importância. De preferência, deve haver um deles dedicado exclusivamente à voz, ou seja, para os sinais de microfones, e outro à programação musical.

No caminho dos sinais dos microfones é sempre importante que se tenha um compressor de áudio. Idealmente, a central de som terá saídas exclusivas para programação musical, para avisos e chamadas, para programação musical + avisos e chamadas, e para gravações, além de saída para centrais PABX.

A saída para programação musical + avisos e chamadas deverá estar normalmente comutada para a programação musical, e na ocorrência de avisos ou chamadas, deverá atenuar (de acordo com ajustes prévios) ou suprimir a programação musical, sempre de modo automático.

O sinal de alerta, geralmente em forma de gongo eletrônico de dois tons, é praticamente obrigatório, e é usado imediatamente antes de qualquer aviso ou chamada.

Nos sistemas de concepção mais antiga - Padrão Eurocard e semelhantes -, esse conjunto de funções é obtido por uma quantidade relativamente elevada de módulos que são encaixados verticalmente em prateleiras.

Suas grandes desvantagens são a ocupação de muito espaço, e a confiabilidade reduzida. Usualmente, os fabricantes desses equipamentos especificam as figuras MTBF (Mean Time Between Failure) para cada um de seus módulos. Ora, o MTBF de cada módulo não é importante, mas sim a figura global do sistema.



figura B.7 o Centro de Controle modelo 344, da linha Acustavoice, da Cysne Sound Engineering acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Nos equipamentos mais modernos, todas as funções são concentradas num único aparelho, proporcionando economia de espaço e elevada confiabilidade.

A figura B.7 mostra o centro de controle 344, desenvolvido pela Cysne Sound Engineering. Trata-se de um aparelho com entrada para 3 microfones, 4 entradas para fontes estereofônicas a nível de linha, mixers separados para microfones e linhas, equalizadores independentes para microfones e linhas, compressores incorporados, gongo eletrônico de 2 tons também

incorporado, controle individual de cada entrada, controles masters de saída de cada mixer, 5 saídas independentes (música, avisos, música + avisos, gravação e saída para centrais PABX em linha balanceada de 600 W, 0 dBm).

Esse produto incorpora inúmeros recursos de monitoração. Podem ser individualmente monitoras todas as entradas (PFL) e todas as saídas (AFL). As formas de monitoração são por medidor VI calibrado, por micro alto-falante incorporado e por fone de ouvido.

Para esses dois últimos, há um controle master independente. Há diversas programações internas, como o nível de saída do gongo, o ajuste de atenuação da música durante os avisos e chamadas, as programações de gravações nas formas com e sem equalização, inclusão de filtros passa altas e passa baixas nos circuitos, além de inserts para processadores externos.

B.6 RECURSOS POSSÍVEIS

Os sistemas AIVC também são muito flexíveis por sua capacidade de fácil adaptação a praticamente toda e qualquer necessidade que se possa imaginar.

Basta que sejam acrescentados recursos. A seguir, vamos discutir os mais importantes deles: B.6.1 Controle Individualizado de Volume Todo e qualquer alto-falante de um sistema AIVC pode ser equipado para que o volume seja localmente controlado. A técnica mais utilizada para isso é a inserção de um atenuador no circuito secundário do transformador, de modo a oferecer proteção para a linha. A figura B.8 ilustra a idéia.

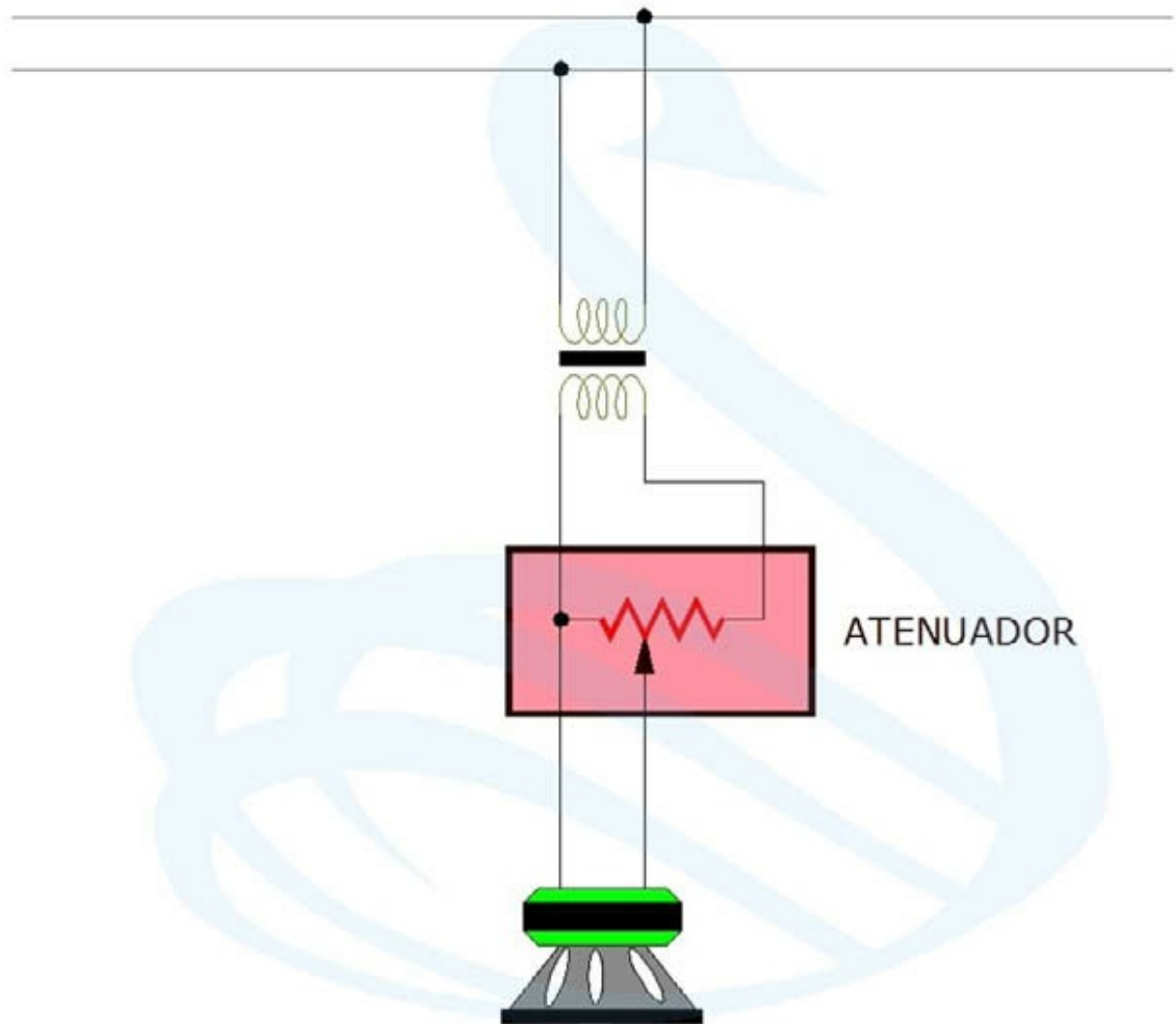


figura B.8 atenuador inserido no circuito secundário do transformador, para controle individualizado de volume acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne B.6.2 Controle Regionalizado de Volume

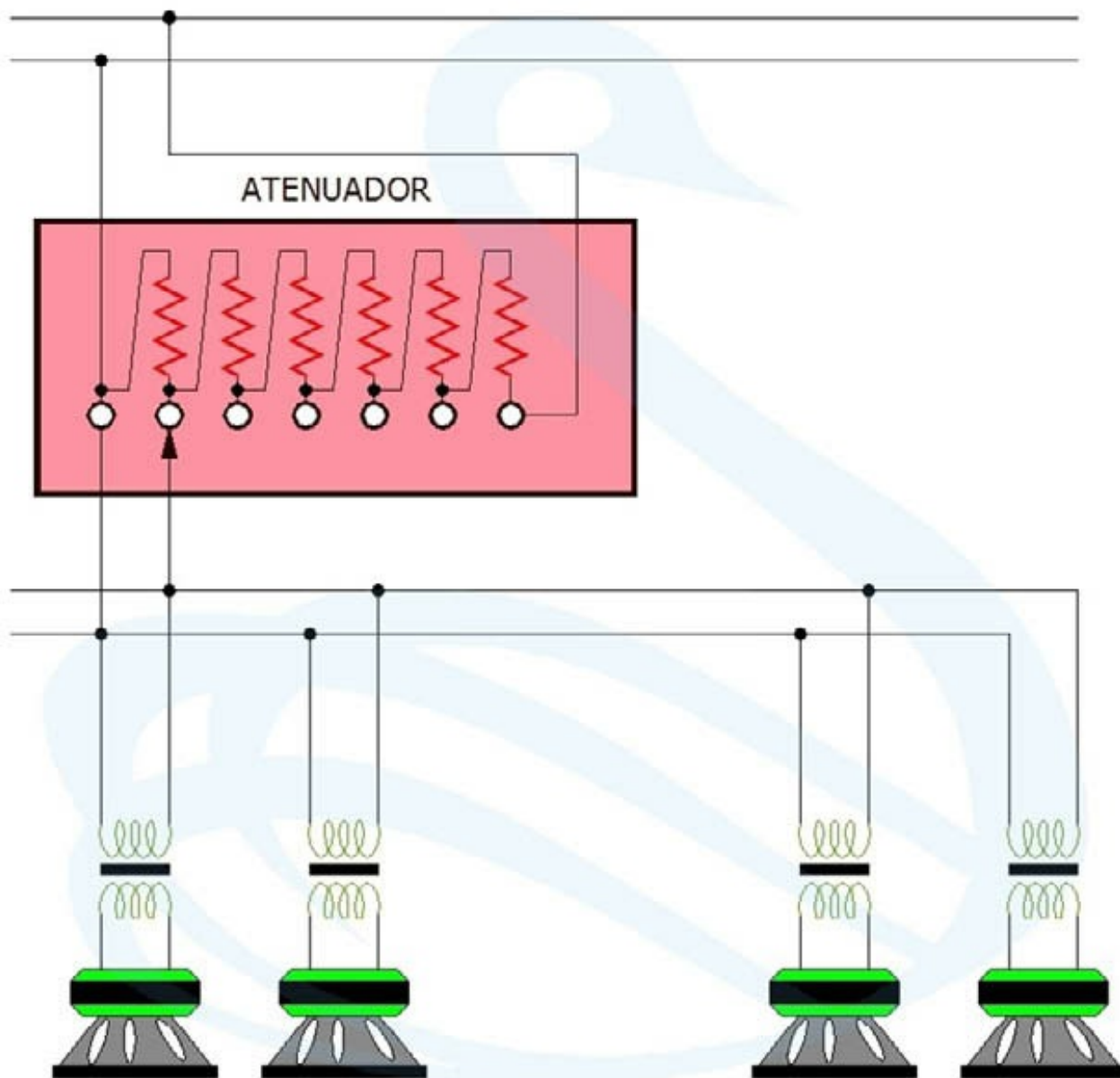


figura B.9 atenuador resistivo inserido no circuito primário de um grupo de transformadores, para controle regionalizado de volume acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Muitas vezes se quer controlar o volume de um grupo de falantes, todos atendendo a uma determinada região, como por exemplo o restaurante de um clube.

Quando o grupo é de apenas dois alto-falantes, recomendo aplicar a técnica vista no item precedente, usando-se atenuadores duplos de eixo concêntrico.

B.6.3 Independência das Linhas ou Partes Delas

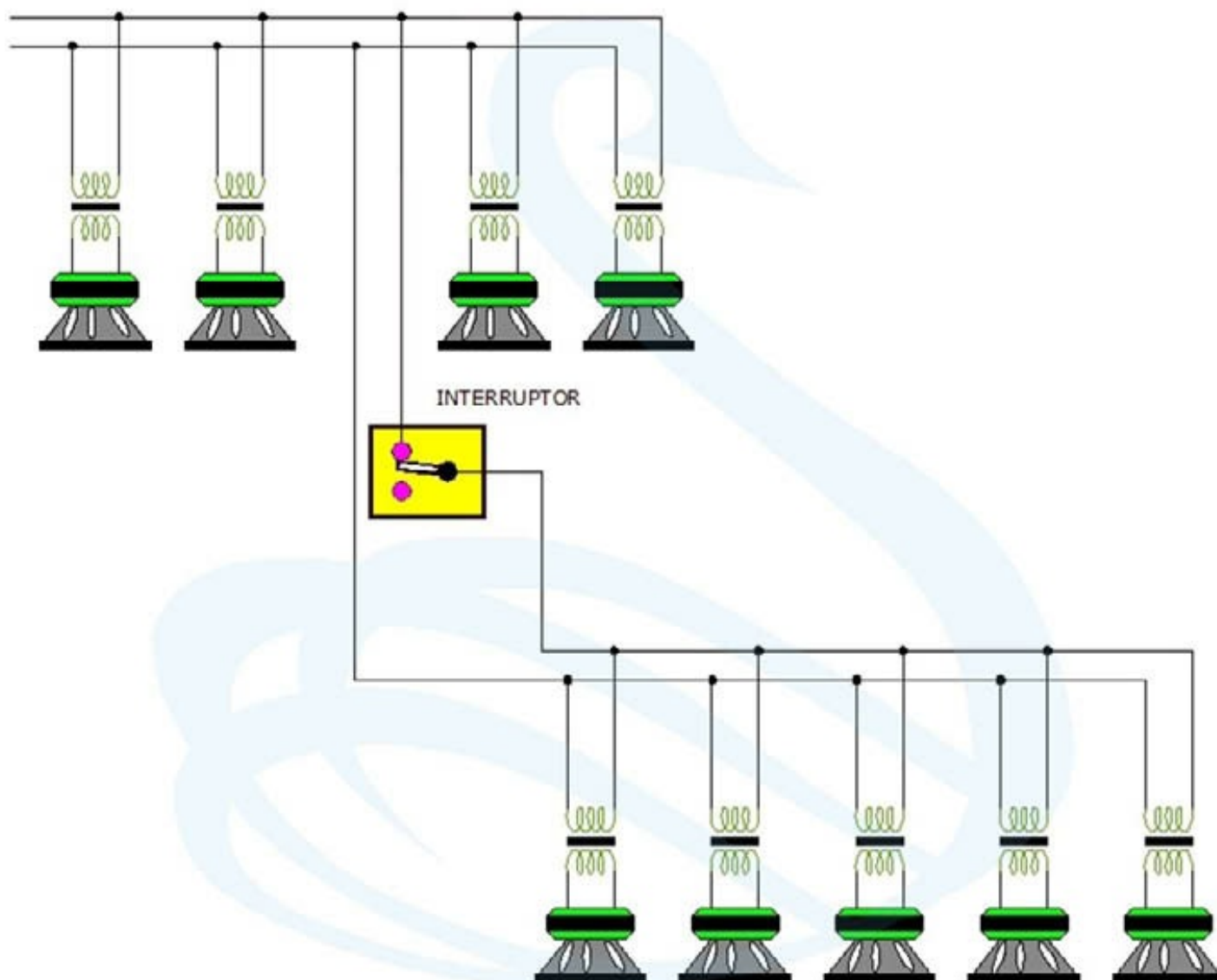


figura B.10 interruptor inserido numa parte da linha de transmissão, o que permite ligar ou desligar esta parte acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Quando o grupo é de três ou mais pontos, há algumas possibilidades diferentes de se encaminhar a solução.

Uma delas é utilizar transformadores de linha para bobina móvel com vários taps, de sorte a permitir o controle de acordo com as necessidades.

Entretanto, para casos gerais recomendo que sejam construídos atenuadores resistivos para uso no primário do transformador.

Como ilustra a figura B.9.

As linhas de transmissão são independentes por definição, já que cada uma delas pode ser ajustada para um nível elétrico que não depende das demais linhas.

Isto pode ser utilizado com vantagens, pois determinadas áreas podem ser servidas por linhas exclusivas, e assim, serão como que independentes do resto do sistema.

Do mesmo modo, partes das linhas podem ser feitas independentes do restante da linha, não só para efeito de controle de volume por área, como mencionado no item B.6.2, mas até para efeito de estarem ou não ligadas ao circuito. Neste caso, deve ser inserido um interruptor simples entre a linha e a parte dela que se quer dar o tratamento diferenciado, como ilustra a figura B.10.

B.6.4 Níveis de Programação e Canais de Áudio Quando as centrais de som dos sistemas AIVC são realmente inteligentes, os sistemas apresentam a grande vantagem de poderem atender áreas diferentes com programações diferentes.

As programações possíveis são: • exclusivamente música • exclusivamente avisos, mensagens e chamadas • música + avisos e chamadas Assim, determinados setores poderão ser atendidos apenas com música, dispensando os avisos e chamadas.

Essa programação é muitas vezes solicitada em escritórios comerciais, para salas de diretoria e de reunião. É de se supor que hajam falantes nas proximidades, aos quais chegarão os avisos, mensagens e chamadas. Por exemplo, para salas de secretárias, que em caso de avisos de emergência deverão estar treinadas para transmitir os avisos a esses locais, apenas atendidos com música.

Outros setores poderão ser atendidos exclusivamente com avisos e chamadas, como setores típicos de serviços internos, cujas atividades exijam concentração, a exemplo de oficinas de manutenção.

Entretanto, a maioria das áreas é geralmente atendida por música, avisos e chamadas.

Isto é, a música é a programação de rotina. Que só é interrompida quando se quer fazer avisos, divulgar mensagens, ou mesmo fazer chamadas de pessoas.

Estabelecer as programações diferentes com as quais trabalharão os alto-falantes é algo que apresenta alguns limites. Que são tão maiores quanto menor é o sistema. Esses limites estão relacionados com o fato de cada tipo de programação exigir alimentação exclusiva por uma ou mais linhas de transmissão.

Assim, num pequeno sistema com apenas duas linhas, ou se limita as programações a duas, ou as linhas e os amplificadores terão que ser aumentados, apenas para que seja possível usar as três programações. Claro, isso no caso de simultaneidade.

Também é possível servir cada alto-falante com dois ou mais canais de programa. O que é muito útil em várias aplicações, como por exemplo em hotéis.

Para tanto, é preciso que se tenha conjuntos idênticos de amplificadores e de fiação, tantos quantos são os canais pretendidos. E a seleção dos canais é feita por seletores simples instalados nas proximidades de cada alto-falante.

B.6.5 Gongo

O gongo eletrônico é um dos recursos mais conhecidos de um sistema AIVC. Ele possibilita o encaminhamento de um sinal de alerta imediatamente antes que seja feito qualquer aviso ou chamada, condicionando as pessoas no sentido de elevar subliminarmente seu grau de atenção, preparando-as para receber os avisos e chamadas.

B.6.6 Setorização A setorização é a forma de possibilitar que só um ou alguns setores sejam selecionados para receber avisos e chamadas.

Esse recurso é muito útil em sistemas de porte médio ou grande, no qual os avisos são feitos em quantidades elevadas.

De fato, se os avisos fossem feitos para todas as áreas atendidas pelo sistema, a rotina normal dos trabalhos acabaria sendo perturbada. Além disso, a maioria das pessoas que se quer localizar geralmente podem ser encontradas em locais conhecidos e determinados. Razão pela qual não há necessidade de fazer chamadas para áreas muito extensas.

Exemplo de aplicação da setorização são os hospitais, cujos andares podem ser individualmente setorizados. Outras vezes, o recurso é efetivamente indispensável, como em prédios comerciais cujos andares são ocupados por empresas diferentes, mas a central de som é única.

Em quaisquer casos, a setorização supõe que avisos gerais e chamadas de emergência sejam possíveis, atingindo simultaneamente a todos os pontos do sistema. Ao que se dá o nome de modo broadcasting.

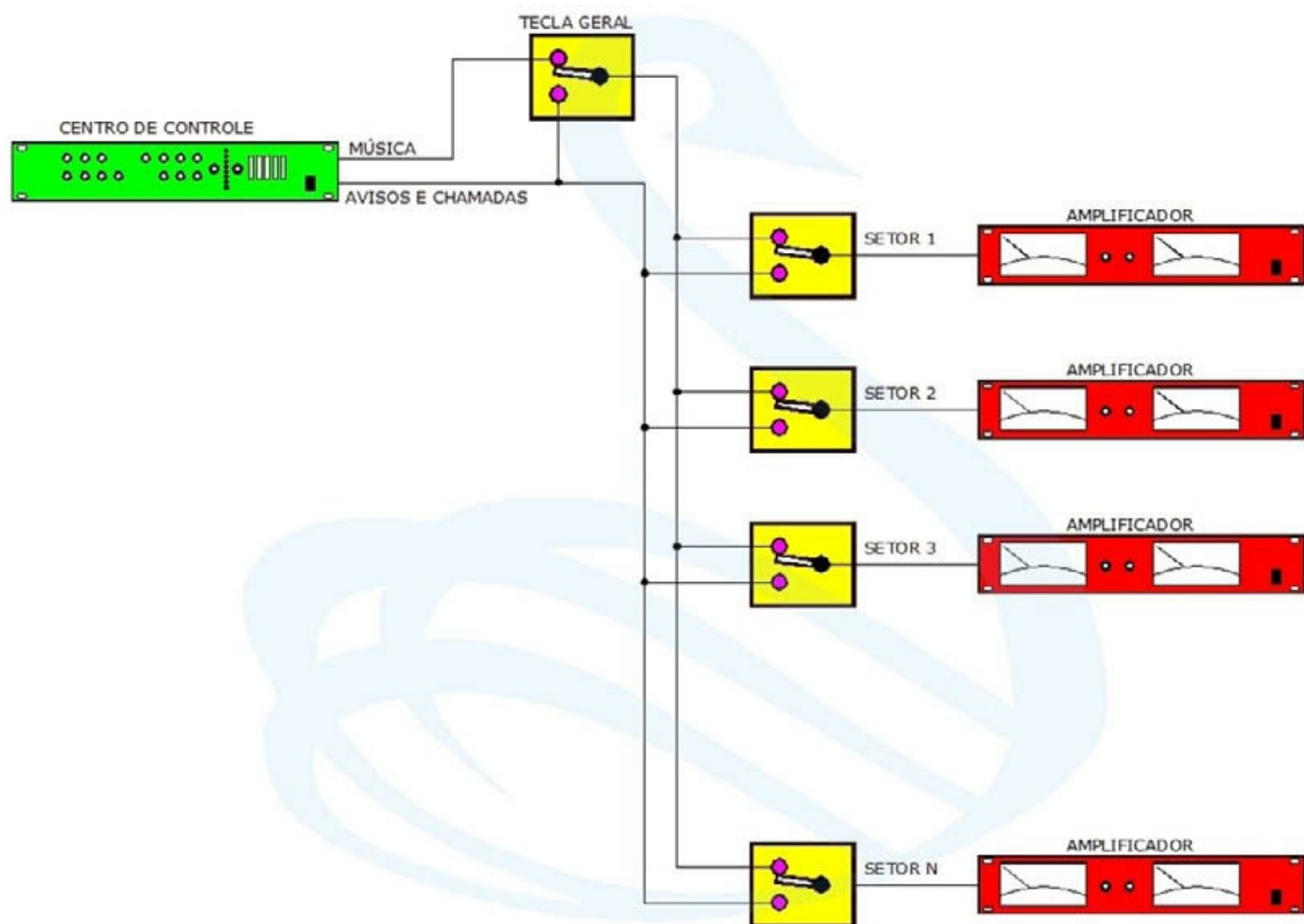


figura B.11 esquema básico de setorização num sistema AIVC

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Há inúmeras maneiras de se implementar esse recurso, e a quantidade de setores pode variar desde apenas 2 ou 3 até 50, ou mais. A figura B.11 ilustra uma das técnicas utilizadas nos sistemas AIVC.

B.6.7 Avisos e Chamadas Forçadas Pontos de som providos do recurso de controle individual de volume, ou que façam parte de grupos submetidos a controle de volume por área, apresentam um eventual inconveniente que se faz sentir imediatamente após a inauguração do sistema.

Quando o atenuador é usado para reduzir bastante ou totalmente o volume, avisos e chamadas de emergência, como por exemplo uma solicitação de evacuação do prédio por motivo de incêndio, poderão não ser ouvidos.

Por segurança, muitas vezes é preciso que os atenuadores só atuem sobre a programação musical, e não sobre os avisos, sobre as mensagens e sobre as chamadas.

O meio mais simples de obter esta circuitação de controle é usar um relé interposto no circuito secundário do transformador, neutralizando a atuação do atenuador.

Neste caso, o setorizador, além de ser um conjunto de chaves de transferência de contato, deve também enviar um sinal de controle CC, geralmente de 12 ou 24 volts, para operar as bobinas dos relés utilizados.

Deve-se lembrar que sistemas com esse recurso exigem um par adicional de condutores de controle, ligado do setorizador até as bobinas dos relés. E que o setorizador deve trabalhar em conjunto com uma fonte CC de 12 ou 24 volts.

A figura B.12 ilustra a circuitação básica correspondente.

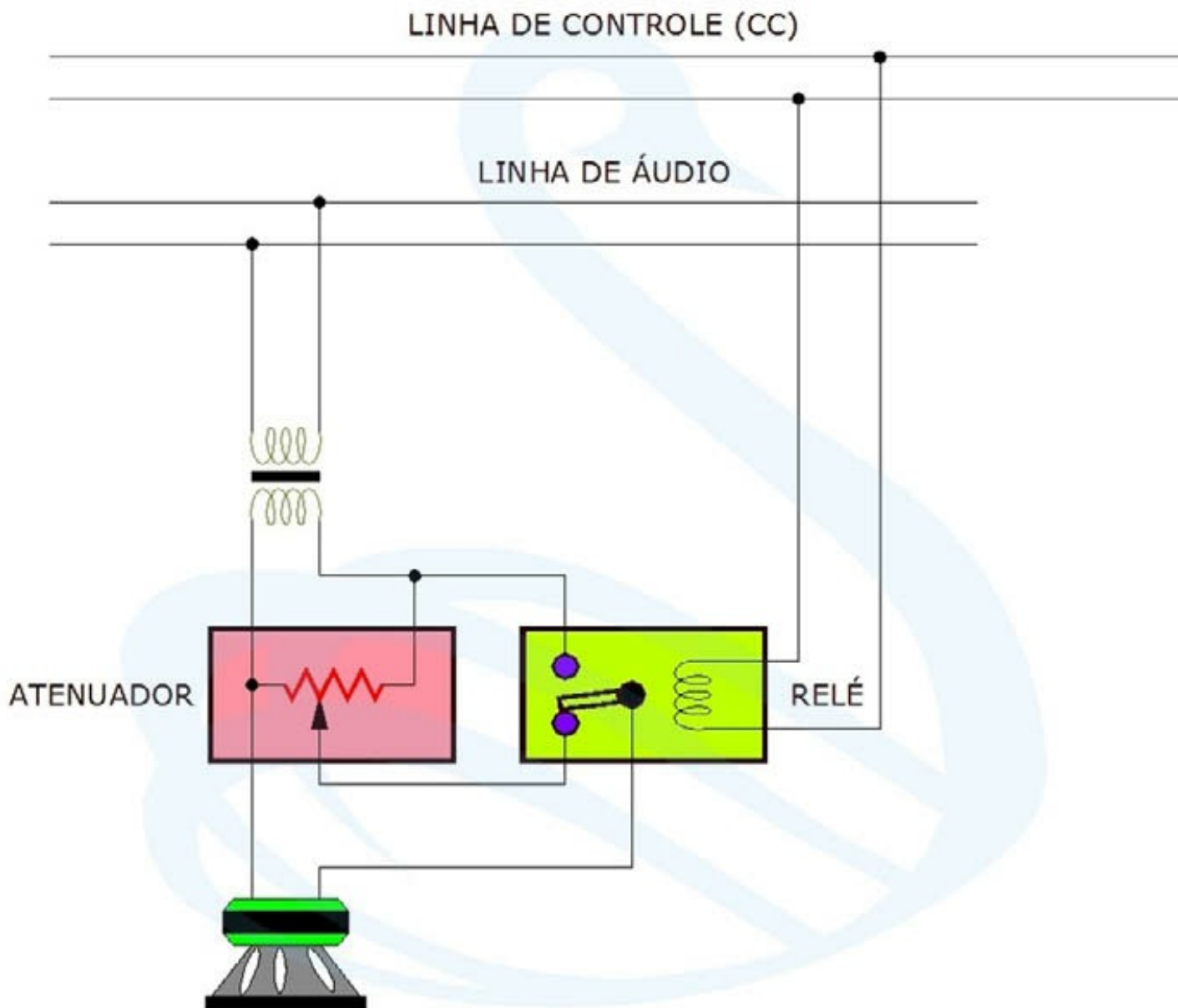


figura B.12 relé interposto no circuito secundário do transformador, para neutralizar a atuação do atenuador, usado em caso de chamadas, avisos e mensagens forçadas acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne B.6.8 Equalização Neste ponto, devemos fazer a distinção entre equalização de voz/programa, e equalização da casa. A equalização de voz/programa é geralmente indispensável.

A equalização da casa é o ajuste dos filtros visando evitar eventuais efeitos da acústica arquitetônica na qualidade sônica.

Nos sistemas AIVC é geralmente desnecessário equalizar para aumentar o ganho antes da realimentação.

O motivo é bastante simples.

Tenha em mente que o recurso é empregado quando há situação de possível oscilação regenerativa, ou microfonia. Ora, no caso dos sistemas AIVC ou são usados poucos microfones, muitas vezes um único deles, e invariavelmente, todos em localizações incapazes de provocar a microfonia.

Entretanto, a equalização para a formatação da resposta de frequência é de todo desejável.

Para obtê-la, basta inserir um equalizador na saída da central de controle, ou se for necessário, um antes de cada um dos amplificadores.

B.6.9 Monitoração

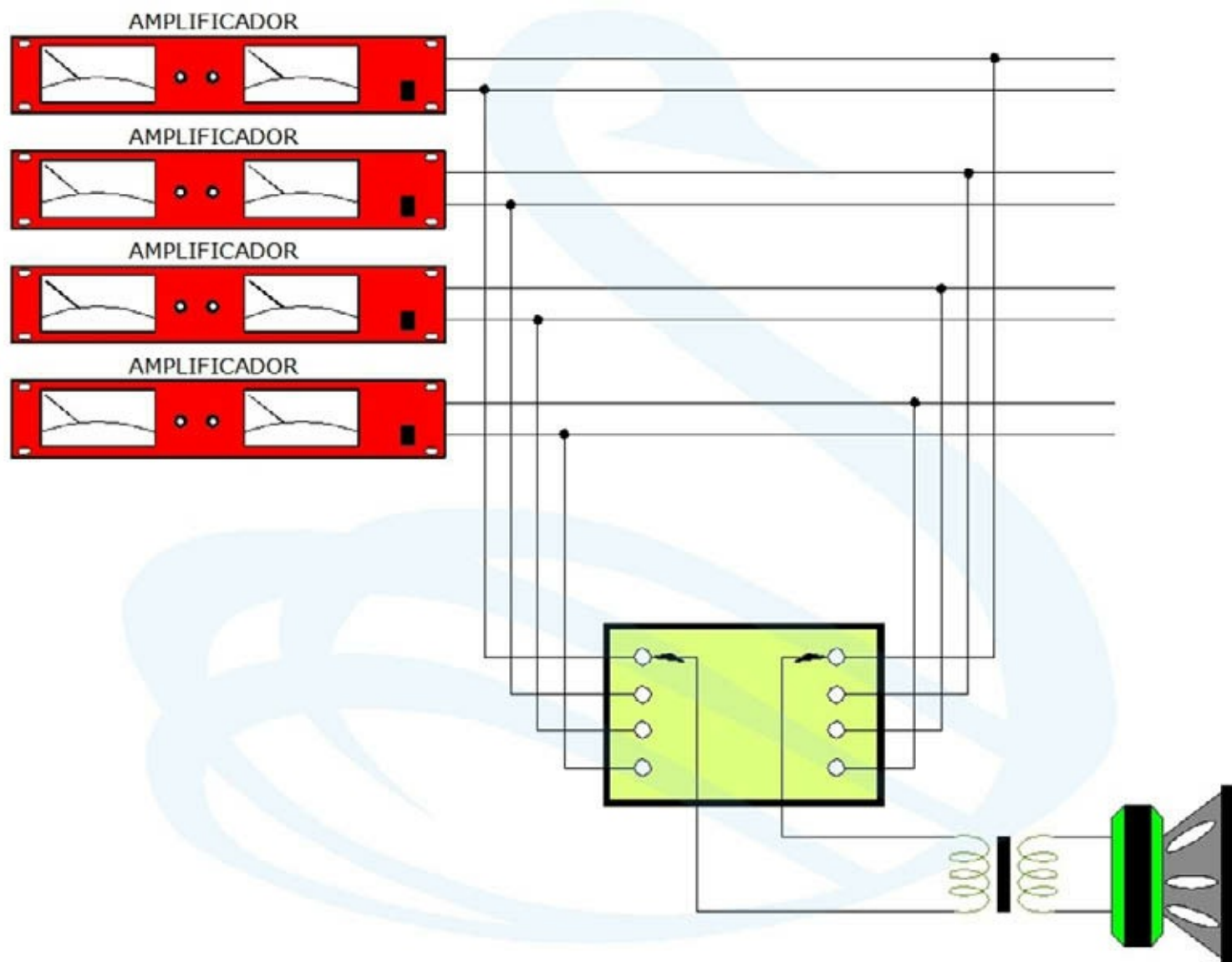


figura B.13 forma usual de obter a monitoração dos amplificadores num sistema AIVC
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Obter bons resultados sônicos com os sistemas AIVC
geralmente significa contar com recursos eficientes de monitoração. A monitoração adequada para os
sistemas AIVC inclui a monitoração feita sobre os sinais em curso pela central de som, e também,
sobre os sinais em curso pelos amplificadores.

A monitoração dos sinais em curso pela central de som implica na possibilidade de monitorar cada um dos sinais de entrada, e cada um dos sinais de saída da central.

Os sinais provenientes dos microfones, bem como os provenientes das fontes de programa, devem ser monitorados depois dos controles de nível de entrada de cada sinal, mas antes do ponto de atuação do controle master de nível de saída. Ou seja, esta monitoração deve ser feita no modo PRE FADER LISTEN (PFL). Isso possibilita ajustar corretamente cada um dos controles de nível de entrada.

Os sinais de saída devem ser monitorados após o controle master de nível de saída. Isto é, no modo AFTER FADER LISTEN (AFL). O que possibilita que os sinais de saída sejam adequadamente ajustados.

Assim, ao longo de toda a central de som os níveis dos sinais podem ser ajustados, de

forma que se obtenha a melhor relação sinal/ruído possível, e ainda, evitando-se que esses mesmos sinais saturarem quaisquer estágios da central.

Monitorar os amplificadores significa monitorar os sinais presentes em cada um dos circuitos de saída de amplificação.

Seja na central de som, seja nos amplificadores, de preferência a monitoração deve ser visual e acústica.

A monitoração visual é feita com o auxílio de medidores VI, de leds indicadores de sobrecarga, e meios semelhantes. A monitoração acústica é feita com fones de ouvido e/ou alto-falantes.

A figura B.13 mostra um modo muito utilizado para monitorar amplificadores de sistemas AIVC.

Nota-se que há um ramo proveniente de cada linha, terminando num seletor. O polo do seletor passa por um transformador de linha para bobina móvel, por um atenuador, e finalmente vai ter a um alto-falante. Por isso mesmo chamado falante monitor.

Fisicamente, esse arranjo pode ser implantado num painel para instalação em bastidor, ou em forma de sonofletor, neste caso já equipado com o seletor, com o atenuador e com o transformador. Nos dois casos é possível instalar um medidor VI, cujo 0 VU deve corresponder à voltagem de entrada no amplificador, capaz de levá-lo à potência nominal de saída.

B.6.10 Substituição Manual de Amplificador com Defeito Em muitos sistemas se deseja utilizar um ou mais circuitos de amplificação reserva.

Em sua configuração mais elementar, esses circuitos reserva são apenas instalados no bastidor, e quando preciso, sua substituição por outros, eventualmente danificados, é feita manualmente por troca de cabos e fios entre a unidade defeituosa e a reserva.

Numa configuração já mais elaborada, usa-se o esquema da figura B.14. Os seletores indicados no desenho podem ser seletores manuais, ou relés manualmente acionados, de forma que toda e qualquer comutação possa ser feita manualmente.

A necessidade ou não de circuitos de amplificação reserva depende da aplicação de cada particular sistema, e das orientações oferecidas pelo cliente.

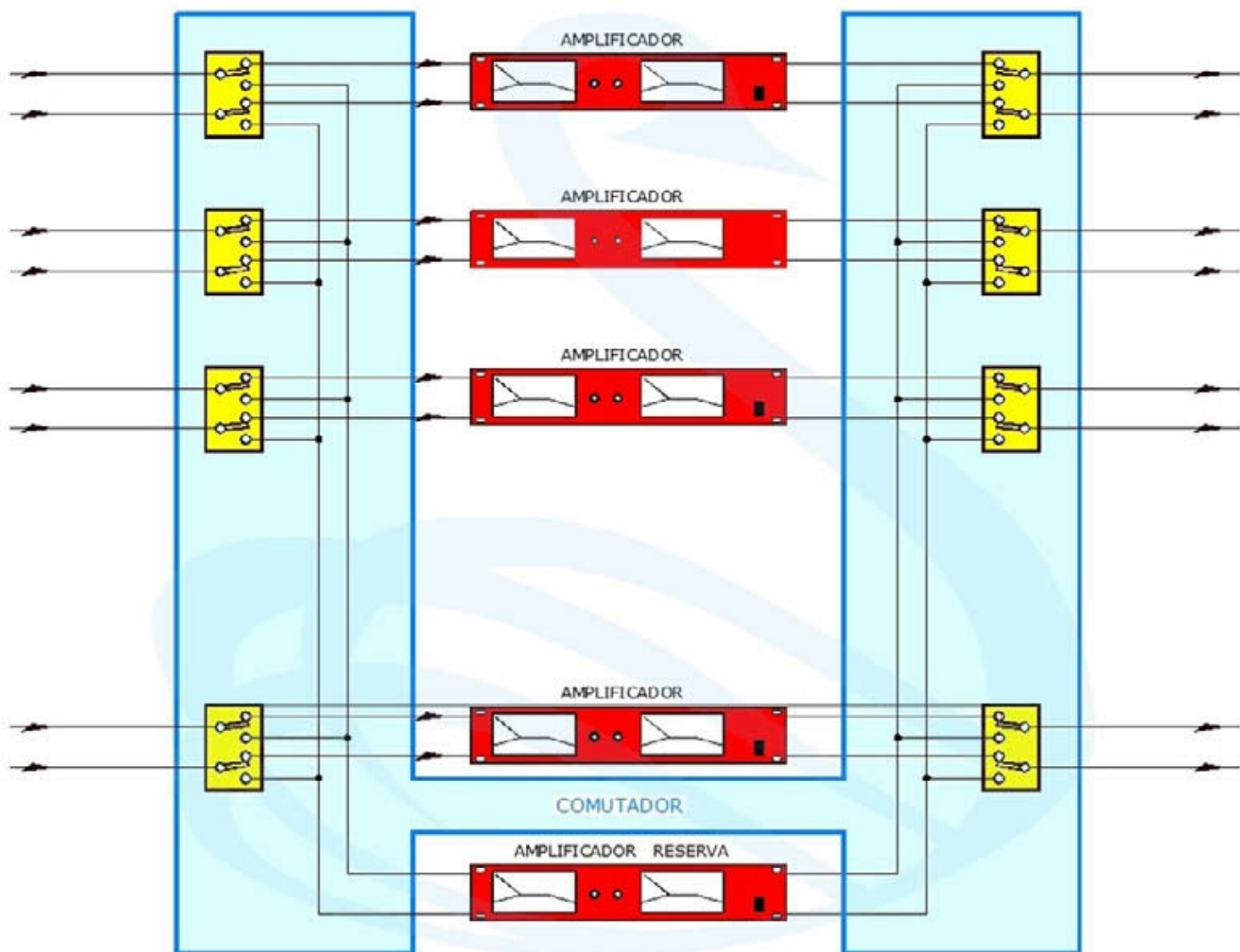


figura B.14 esquema elaborado para substituição manual de amplificador defeituoso acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne B.6.11 Substituição Automática de Amplificador Com Defeito A circuitação da figura B.14 pode ser “melhorada” para que circuitos eletrônicos comparem os sinais presentes nas entradas e saídas de cada amplificador, e em caso de divergências confirmadas por mais do que um certo tempo, a unidade detectada como defeituosa seja automaticamente substituída pela reserva.

Todo esse procedimento automático também pode ser supervisionado através de leds capazes de informar o “status” corrente a cada momento.

Esse recurso é frequentemente solicitado numa quantidade infindável de especificações. Por isso mesmo, devo alertar que esse recurso costuma ser uma faca de dois gumes. Ambos muito afiados. Eis a razão porque usei acima o termo melhorada entre aspas.

Quem se dispuser a examinar as causas dos defeitos apresentados pelos amplificadores utilizados nos sistemas AIVC, constatará que os curtos em linha ou quedas repentinas de impedância nas linhas são responsáveis por cerca de 80% dos casos.

Embora possa parecer um tanto ou quanto estranho que esses defeitos de linha ocorram com tanta frequência, isto é mesmo um fato. Talvez justificado porque as linhas instaladas em locais não técnicos, que são a grande maioria, estão realmente muito vulneráveis.

Se instaladas em eletrocalhas, geralmente ficam ao alcance de técnicos de outros sistemas, que por vezes, inadvertidamente provocam curtos ou reduções de isolamento.

Outras vezes, a inclusão ou retirada de sonofletores das linhas, o que é uma das facilidades intrínsecas dos sistemas AIVC, é procedida de forma irregular. Por exemplo, sem transformadores, ou com transformadores, mas com enrolamentos primário e secundário invertidos.

Uma vez que o defeito do amplificador tenha sido provocado por uma falha na linha, substituir este amplificador defeituoso por outro, reserva e sem defeito, apenas provocará o imediato defeito no novo amplificador. Exatamente da mesma forma que o defeito foi provocado no primeiro amplificador, recém substituído.

Nessas circunstâncias, é sempre prudente que, antes de se substituir qualquer amplificador, a correspondente linha seja investigada quanto a defeitos, por processos convencionais ou automáticos. A idéia central de se fazer as medições automaticamente é, em caso constatação de defeito na linha, abortar a substituição automática, e enviar sinalização acústica e/ou visual que caracterize essa situação.

Entretanto, isso é algo caro para a maioria das aplicações.

B.6.12 Controle Automático de Ganho Variações abruptas e constantes do NRA é uma das marcas características de alguns lugares. Dessa forma, se o sistema não estiver sendo permanentemente ajustado, ou a inteligibilidade poderia acabar prejudicada, ou, quando o ajuste fosse feito para a condição de maior NRA constatado, haveriam reclamações durante os períodos de baixos NRA.

A saída clássica para essa situação é o emprego de controle automático de ganho. Trata-se de uma técnica na qual são empregados alguns microfones, geralmente de eletreto, que operam como sensores de som. Portanto, eles são instalados em pontos estratégicos. Os sinais provenientes dos sensores são recolhidos e processados.

O processamento tem por objetivo avaliar constantemente o NRA dos locais amostrados. Dependendo do nível, o ganho do sistema é automaticamente aumentado ou reduzido.

O aumento ou redução de ganho é feito por um simples circuito de Controle Automático de Ganho, diretamente governado pelo sinal já processado, como gerado pelos microfones sensores.

B.6.13 Microfones B.6.13.1 Teclas APF

A tecla APF (Aperte Para Falar) é sempre associada aos microfones para avisos e chamadas, e tem duas funções. Quando não utilizada, deixa o microfone fechado, em condição de curto-circuito. Ao ser utilizada, não só o curto é desfeito, como também pode haver retorno de um sinal de controle para a central, geralmente no nível 0 volts.

B.6.13.2 Remotos Microfones remotos são utilizados em inúmeras instalações. Como por exemplo em portarias, postos avançados, salas de segurança e muitos outros locais.

Sua instalação não exige nada de especial. Apenas se deve cuidar para que as linhas que portam esses sinais sejam balanceadas a transformador. Certos casos poderão exigir a pré-amplificação dos sinais gerados pelos microfones remotos, junto aos próprios microfones.

B.6.13.3 Prioridades Em instalações onde a segurança é crítica, podem ser solicitados microfones ligados com esquema de prioridades. A exemplo de um microfone dedicado ao diretor de segurança, que deve poder interromper qualquer outro, mas não deve poder ser interrompido por nenhum outro, sendo considerado, portanto, o de prioridade 0.

Abaixo deste estão os microfones de outros setores de segurança, que não podem interromper o anterior, mas podem interromper quaisquer outros. Esses são o de prioridade 1. E assim por diante. A figura B.15 mostra uma típica circuitação de prioridade.

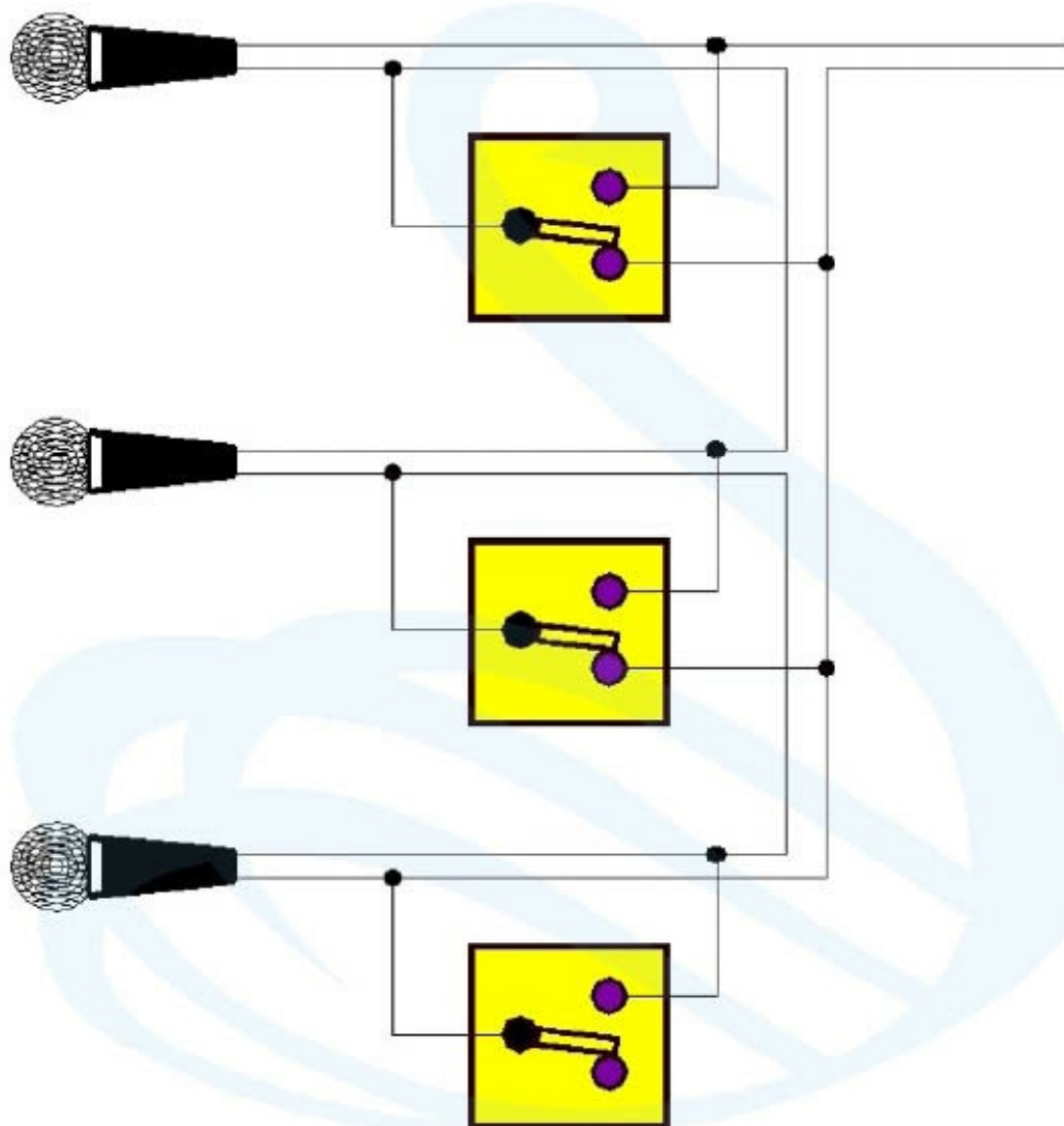


figura B.15 circuitação típica de microfones arranjados para prioridade acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne B.6.14 Geração de Tons Especiais Muitas vezes são solicitados tons especiais de avisos específicos, geralmente em forma de sirenes, tons sobrepostos e outros, para sinalização de situações

características, como incêndio, assalto, vazamentos, descarga de gases tóxicos, *etc.*

Na maioria das vezes os geradores de tons são confeccionados de modo “customizado”, e tratados como se fossem quaisquer outras fontes de programação.

O modo mais fácil de ativá-los é deixando-os em condição permanente de operação, mas não habilitados por um simples interruptor que, ao ser acionado, os habilita de imediato, por tempo correspondente ao acionamento manual, ou por temporização eletrônica.

Critério semelhante é aplicável a mensagens especiais, que podem ser pré formatadas e armazenadas em meios analógicos ou digitais, para uso em momentos adequados, com acionamento programado ou feito por computador.

B.6.15 Distribuição Voltada para a Otimização da Confiabilidade

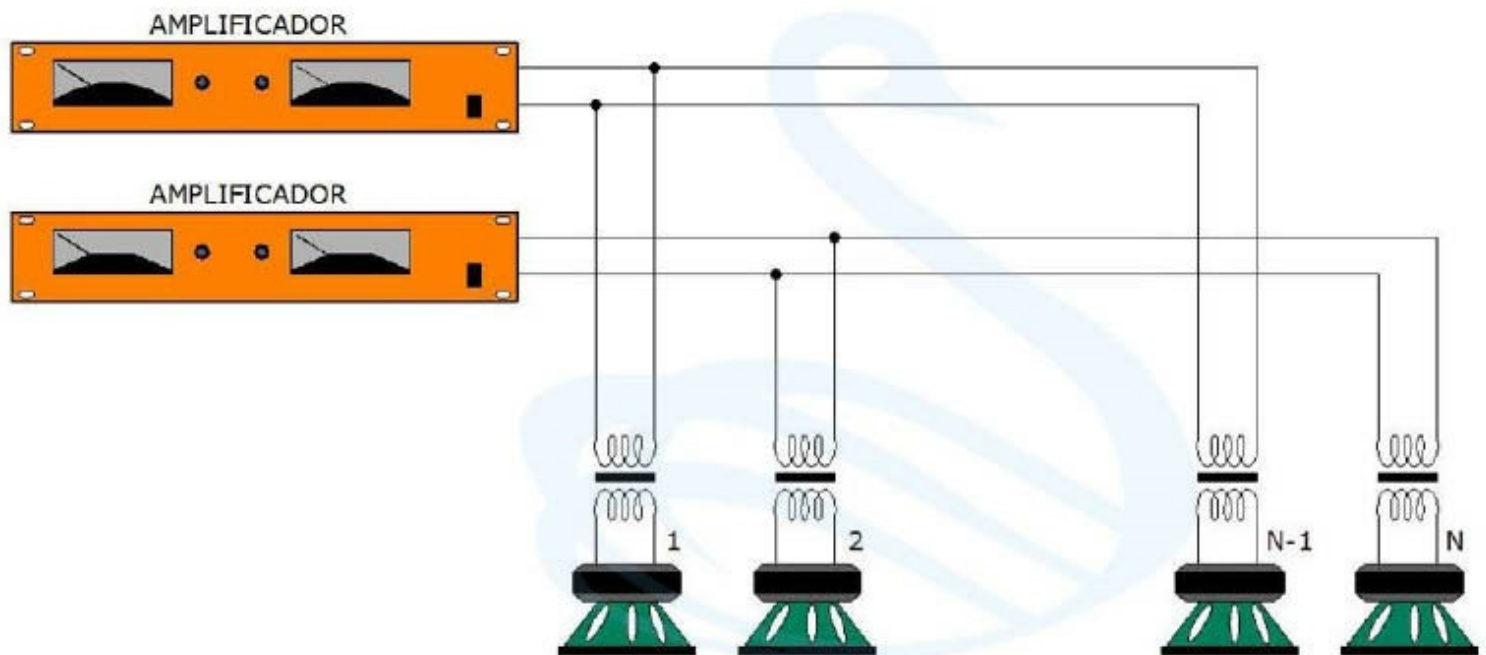


figura B.16 alto-falantes ligados alternadamente aos amplificadores, para aumento de confiabilidade do sistema acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como disse anteriormente, a alocação racional dos pontos de som aos amplificadores é feita de modo que os lances de cabos sejam os menores possíveis.

Contudo, por vezes essa técnica deve ser deixada de lado para que o sistema se torne mais confiável como um todo.

Em seu lugar, usa-se a técnica de alternar os pontos, como mostra a figura B.16. As alternâncias podem ser feitas de 1 em 1 unidade, ou de 2 em 2, ou de 3 em 3, *etc.* É tudo uma questão de custo x benefício.

Quanto maiores os saltos de alternância, mais confiável e caro torna-se o sistema.

B.6.16 Transformadores Tapeados Os transformadores de linha para bobina móvel que vimos até aqui eram todos com uma só seção primária e uma só seção secundária. Entretanto, podem ser construídos transformadores com taps tanto na seção primária quanto na secundária.

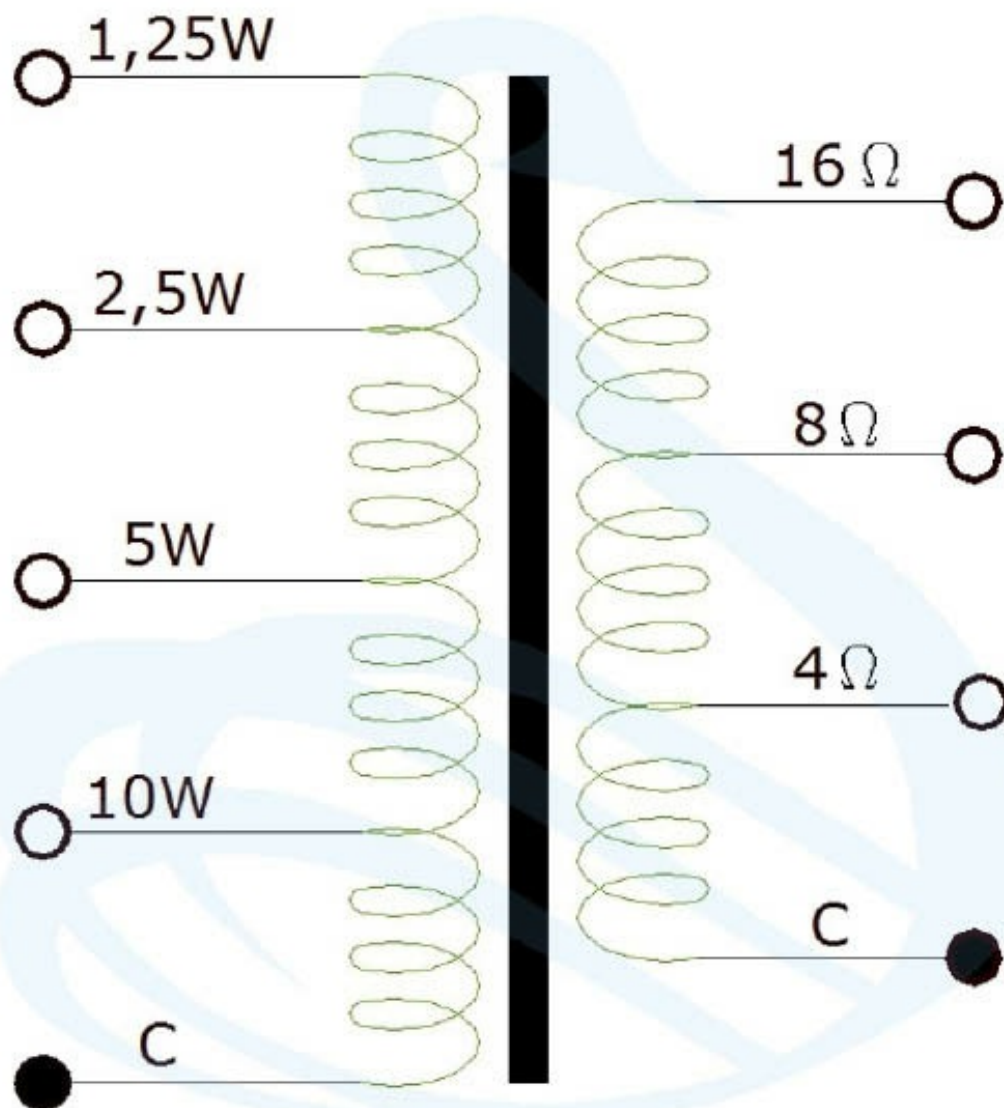


figura B.17 transformadores de linha para bobina móvel tapeados acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A vantagem disto é evidente. Com taps na seção primária, é possível fazer ajustes no nível de pressão sonora final obtido, de forma que eventuais desvios de cálculo sejam compensados na prática.

Ou ainda, é possível trabalhar com um só tipo de transformador para vários níveis de pressão sonora desejados. Os taps secundários permitem melhor acomodação às impedâncias nominais dos alto-falantes.

O recurso é muito interessante quando se lida com falantes de tipos diferentes numa mesma instalação.

Entretanto, é sempre mais difícil projetar transformadores tapeados do que convencionais, com um primário e um secundário. Outra desvantagem é que as perdas por inserção são mais elevadas nos transformadores tapeados.

A figura B.17 mostra o esquema clássico de um transformador tapeado no primário e no secundário.

Convém observar que todos os recursos de sistemas AIVC vistos até aqui são apenas os principais, havendo muitos outros deles, que inclusive podem ser empregados em quaisquer combinações.

B.7 INSTALAÇÃO

B.7.1 Aspectos Preliminares Infelizmente, a maioria das instalações dos sistemas AIVC é executada por profissionais pouco habilitados, ou mesmo inabilitados.

As correspondentes tarefas dificilmente são orientadas por supervisores competentes ou baseadas em documentação adequada. O ferramental apropriado dificilmente está disponível e o instrumental de fato necessário só é encontrado raramente nos locais de instalação.

Em parte, isso acontece por falta de conhecimento. Outras vezes, decorre do fato da empresa instaladora acreditar que a instalação desses sistemas é mais fácil do que a realidade mostra.

Entretanto, para que se possa desfrutar integralmente do grande potencial de um sistema AIVC, bem como para que sua confiabilidade projetada seja obtida na prática, é indispensável que os serviços de instalação sejam executados de modo absolutamente competente, e por profissionais treinados para as atividades que vão executar.

B.7.2 Normas e Práticas Aplicáveis Já disse em outra parte deste livro que no Brasil, e mesmo no exterior, há uma certa carência por normas e práticas aplicáveis a sistemas de sonorização em geral, talvez com a honrosa exceção do segmento de “broadcasting” de rádio e de TV. Mas essa falta torna-se dramática e bem mais acentuada nos sistemas AIVC.

Entretanto, inúmeras empresas integradoras de sistemas sediadas no exterior já contam hoje com suas próprias normas e práticas, elaboradas com base em experiência própria adquirida ao longo dos anos.

Este é o caso Cysne Sound Engineering, que conta atualmente com as Práticas Recomendadas relacionadas no capítulo 9, além de uma série de procedimentos e métodos pertinentes.

Inclusive, vários deles especificamente voltados para sistemas AIVC.

Entendo ser imprescindível organizar os serviços e executá-los conforme normas e práticas de eficácia comprovada, de vez que só assim é possível estabelecer um padrão de qualidade das tarefas executadas, com um mínimo de tempo consumido.

B.7.3 Instrumental Necessário O instrumental necessário para dar suporte aos serviços de instalação dos sistemas AIVC inclui aqueles convencionais necessários para instalar sistemas de áudio em geral, como multitestadores, voltímetros, geradores de áudio e osciloscópios, e outros específicos, que se disponíveis, não só reduzem bastante o tempo de execução das tarefas, mas asseguram a obtenção de qualidade em tempo real.

O instrumental específico inclui um medidor de impedância capaz de indicar o módulo das impedâncias das linhas de 70,7 volts, e mesmo de conjuntos alto-falantes/transformadores de

linha para bobina móvel; um localizador de alto-falantes não autorizados (desprovidos de transformador de linha para bobina móvel, ou com transformadores invertidos); arranjos capazes de permitir que os alto-falantes sejam instalados diretamente sobre linhas energizadas, o que possibilita saber se a tarefa foi executada corretamente ou não, no exato momento em que o alto-falante é instalado.

A Cysne Sound Engineering desenvolveu um instrumento que reúne essas três funções simultaneamente. E graças a ele as tarefas puderam ser realizadas em cerca de 65% dos prazos anteriormente consumidos.

B.8 MANUTENÇÃO

Como quaisquer outros sistemas, os sistemas AIVC exigem serviços de manutenção.

Entretanto, é preciso considerar que esses sistemas são muito mais vulneráveis a problemas provocados pelo próprio usuário. Não que isso decorra de atitude proposital, ou por falta de postura profissional, mas sim por que se julga que estes sistemas são “receptivos” à instalação de novos alto-falantes, sem qualquer dificuldade adicional.

O que absolutamente não é verdadeiro. Além disso, tais “complementos” de instalação muitas vezes são executados sem suporte técnico no grau desejado.

Idealmente, empresa instaladora e cliente assinam um contrato de manutenção anual, no qual são definidas visitas de manutenção preventiva e corretiva. A realização prática desses contratos pressupõe a existência de documentação, o que é o objeto do próximo tópico.

B.9 DOCUMENTAÇÃO

A documentação mínima que deve ser entregue ao cliente de um sistema alta impedância/voltagem constante deve corresponder aproximadamente ao que foi discutido a respeito no capítulo 6.

B.10 A PANACÉIA E OS EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS NO MERCADO

Infelizmente, os sistemas AIVC não desfrutam de boa reputação.

Principalmente se comparados a outros tipos de sistemas de áudio profissional.

A razão principal que embasa esta lógica dos usuários é a crença quase que generalizada de inúmeras empresas do ramo, de que basta adicionar alto-falantes com transformadores às linhas de transmissão que o sistema irá operar satisfatoriamente.

Essa quase que total falta de critério técnico é muito comum ao longo da implantação desses sistemas. Seja na etapa de “projeto”, seja na dos serviços de instalação, e mesmo após a implantação, quando deveria ocorrer a manutenção.

Sistemas engenheirados com critérios realmente técnicos produzem resultados de qualidade excepcional. Por esse motivo me propus a escrever este apêndice, certo de que ele poderá trazer alguma contribuição a todos os que se interessam pelo método AIVC.

Outro motivo da má reputação dos sistemas AIVC é a pouca disponibilidade de aparelhos e equipamentos de boa qualidade, e ainda, que possam ser de fato agrupados para formar um sistema.

Um todo homogêneo.

Alguns fabricantes produzem no Brasil apenas amplificadores de 70,7 volts e nenhum item mais. No passado, isso obrigava empresas instaladoras e integradoras a usar pré-amplificadores de aplicação residencial. Pelo mesmo motivo eram utilizados microfones adaptados, e assim por diante.

Pequenos itens, como transformadores de linha para bobina móvel, eram adquiridos em lojas que não tinham como informar sobre a qualidade desses produtos, em geral não apropriados para o fim a que se destinavam.

Até bastidores adequados só podiam ser adquiridos com grandes dificuldades.

Vendo esta situação, e se colocando numa posição de vanguarda, a Cysne Sound Engineering desenvolveu uma linha completa de produtos exclusivamente voltada para a técnica AIVC. As tônicas desses produtos são a qualidade ímpar, só comparável aos melhores equipamentos importados do gênero, e o baixo custo.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

apêndice C
introdução a técnicas digitais



APÊNDICE C - INTRODUÇÃO A TÉCNICAS DIGITAIS

C.1 ARQUITETURA BÁSICA DE UM COMPUTADOR

C.2 ARQUITETURA DA MEMÓRIA C.3 REPRESENTAÇÃO BINÁRIA C.4 PONTOS FLUTUANTES

C.5 CORREÇÃO DE ERROS

C.6 HARDWARE E SOFTWARE

C.7 PROCESSAMENTO DE DADOS

C.8 PCM

C.9 AMOSTRAGEM

C.10 O SISTEMA COMPLETO

C.11 RELAÇÃO SINAL - ERRO DE QUANTIZAÇÃO

C.12 SISTEMA DE EDIÇÃO

APÊNDICE C - INTRODUÇÃO A TÉCNICAS DIGITAIS

A comunicação à distância bem sucedida que o ser humano empreendeu remonta à época em que ele passou a habitar este planeta. Não por qualquer outra razão, mas pela necessidade imperiosa de fazê-lo.

Podemos pensar em inúmeras maneiras pelas quais a comunicação à distância é possível. Por exemplo, com gestos, ou com sinais variados feitos com os braços e com as mãos, ou com sinais luminosos obtidos com o uso de superfícies polidas e capazes de refletir luz, ou através de marcas deixadas em troncos de árvores, ou por meio de símbolos especiais obtidos por combinações físicas de quaisquer tipos de objetos, ou com sinais de fumaça, com trilos e apitos dos mais diversos, com combinação de cores, e o que mais quisermos imaginar.

Claro, tudo isso certamente não guarda qualquer relação com o que conhecemos hoje como telecomunicações. Poderiam dizer. Mas, será mesmo?

Só por um minuto, tente esquecer todo o moderno aparato tecnológico que nos cerca, e procure se concentrar nos princípios mais básicos e elementares da comunicação humana. Então, creio que você verá semelhanças muito grandes entre o que são as comunicações atuais,

e o que era a comunicação, desde sua pré história, até, digamos, o início do século XVIII.

É até mesmo intuitivo que qualquer comunicação só pode ser bem sucedida se for precedida de ao menos uma convenção, ou código, adotado como uma espécie de padrão comum entre transmissor e receptor. Tal como ocorre com qualquer idioma.

Só assim a parte que recebe a mensagem estará apta a entender corretamente seu significado, como atribuído na origem.

A partir do ano de 1.700 já haviam tentativas de se obter a comunicação através de fios elétricos, em formas que podem ser chamadas de embriões da telegrafia contemporânea.

Em 1.753 um cidadão escocês, que preferiu não se identificar, assinando apenas C. M., escreveu para a revista Scot Magazine, sugerindo uma forma de implantar um sistema de comunicação à distância. C. M. propunha empregar tantos condutores elétricos isolados quanto fossem as letras do alfabeto. E a cada condutor corresponderia uma e só uma letra.

Esta idéia foi bem recebida na Itália, onde foi aperfeiçoada aos poucos.

No final do século XVIII, Luigi Galvani e Alessandro Volta fizeram experiências que revolucionaram algumas idéias no campo da eletricidade, e de seus efeitos. Em 1.800 Volta introduz sua pilha elétrica, cada vez mais utilizada desde então. E logo a seguir, Francisco Salvá demonstra cabalmente que a pilha elétrica podia ser empregada com muito eficiência para transmitir sinais elétricos sobre condutores.

Juntamente com essas descobertas, descobriu-se que a passagem de corrente elétrica podia provocar a decomposição de alguns líquidos, fazendo-os voltar a seus ingredientes básicos.

E disso resultou uma forma de comunicação à distância, na qual o sinal recebido na ponta receptora era indicado pela liberação de hidrogênio, ou pela mudança de cor de certas substâncias. Em todas essas formas rudimentares e primitivas de comunicação utilizando fios elétricos, o retorno elétrico da linha, ou das linhas, era sempre feito através da terra.

No início do século passado, André Marie Ampère propõe “sistema” semelhante aos até então imaginados. Com a diferença única de utilizar uma agulha magnética como elemento de indicação. Isto porque a agulha se deslocava quando a corrente elétrica recebida percorria uma bobina que ficava nas imediações.

E muitas outras sugestões e idéias foram se acumulando. Propostas por gênios como Joseph Henry, Carl Friedrich Gauss, Wilhem Weber, Charles Wheatstone, e tantas outras feras.

A telefonia só se tornou uma realidade a partir de 1.876, ano em que Alexander Graham Bell recebeu sua patente do telefone.

Imediatamente antes disso, a telegrafia era o principal meio de comunicação à distância. Mas já numa forma praticamente universalizada. Graças a Samuel Finley Breese Morse. Que introduziu o que hoje conhecemos como código Morse. Esse código, e o sistema que ainda hoje

é usado em algumas regiões do mundo, foi patenteado em 1.840. A partir daí, Morse começou a pressionar o Congresso norte-americano para que liberasse a verba de US\$ 30 mil. Com a qual seria construída uma linha telegráfica de 65 quilômetros, ligando Baltimore a Washington. O que ocorreu em 1.843.

Dado o sucesso da empreitada, as implantações de linhas telegráficas se alastraram rapidamente por todo o mundo.

De tão simples que era a idéia de Morse, muitos a julgaram como um autêntico ovo de Colombo. O processo completo não foi todo imaginado por Morse. Além das contribuições de tudo o que veio antes, Morse contou com a ajuda decisiva de muitos, principalmente de Henry.

Todo o conceito foi desenvolvido para possibilitar o transporte de uma voltagem CC, produzida por uma bateria, por longas distâncias através de um único par de condutores elétricos. No caso, linhas telegráficas.

Entre a bateria e a linha foi instalada uma chave interruptora de acionamento manual, chamada chave telegráfica. Com muito boa vontade, seu formato poderia lembrar o de um grampeador moderno.

Com a alavanca da chave levantada, ou posição normal, os sinais da bateria eram interrompidos da linha. Quando apertada a alavanca da chave, a bateria era introduzida na linha, e seus sinais podiam ser transportados. Na ponta receptora, o operador decifrava as mensagens ouvindo os ruídos de um relé que operava com a passagem da corrente elétrica.

Tudo o que o operador de telégrafo tinha que fazer na ponta transmissora era acionar a chave de acordo com o código Morse. Que representa cada letra do alfabeto, e os números, com diferentes sequências de sinais com duração mais curta ou mais longa. Como mostra a tabela C.1 a seguir.

tabela C.1

A	• —	M	— —	Y	— • — —
B	— • • •	N	— •	Z	— — • •
C	— — • •	O	— — —	1	• — — — —
D	— • •	P	• — — •	2	• • — — —
E	•	Q	— — • —	3	• • • — —
F	• • — •	R	• — •	4	• • • • —
G	— — •	S	• • •	5	• • • • •
H	• • • •	T	—	6	— • • • •
I	• •	U	• • —	7	— — • • •
J	• — — —	V	• • • —	8	— — — • •
K	— • —	W	• — —	9	— — — — •
L	• — • •	X	— • • —	0	— — — — —

Samuel Morse pode ser considerado um dos pioneiros das telecomunicações de todos os

tempos.

Neste momento, gostaria que você refletisse um pouco sobre o código por ele proposto. Observe como todas as representações são obtidas com combinações de apenas dois símbolos diferentes. E o que é isso se não uma forma binária de transmitir informações?

De fato, hoje, em plena era digital, nos valem da linguagem da informática, idioma universal que expressa qualquer coisa com combinações de duas entidades diferentes. “Zeros” e “uns”.

Tal qual nosso código binário atual, as “bolinhas” e “traços” de Morse representam sinais curtos e longos. Portanto, um código também binário.

Mais do que isso. A sequência de transmissão de informações nos dois casos é bastante semelhante. Em ambas temos um fluxo contínuo de símbolos sucessivos, ou informações binárias. Ao que os especialistas chamam de onda contínua.

É provável que raciocínio semelhante possa ser aplicado a vários dos códigos empregados nos métodos até hoje utilizados nas comunicações de todos os tempos.

E assim, ao final de tudo, vemos que muitas de nossas idéias são recicladas e reaproveitadas com o passar dos anos. E dos séculos.

Agora podemos falar do básico das técnicas digitais. Sabendo que não estamos diante de algo tão inovador e recente quanto a maioria de nós é levado a julgar. Mas de um processo que, se de um lado certamente inclui idéias frescas e muitas coisas novas, de outro, também incorpora várias idéias e conceitos antigos. Que receberam fachada e roupagem nova. Os quais só puderam ser confeccionados graças ao avanço da ciência eletrônica como um todo, mas particularmente de seu segmento relacionado com a tecnologia computacional.

A digitalização que já revolucionou a indústria do áudio, doméstico e profissional, aparenta estar bem longe de um final, mas sem dúvida, tem caminhado a passos cada vez mais largos.

Certamente isso é apenas uma pequena parte de um fenômeno de envergadura muito maior, que tem por símbolo o impacto, e como campo de ação toda a indústria de processamento de sinais. Aí incluídas as telecomunicações, o enorme segmento de análise de imagens originadas em satélites terrestres, o fascinante campo do reconhecimento de figuras, as análises de dados em geral, como os provenientes de radares, a exemplo de informações de abalos sísmicos, a geração automática de voz humana sintetizada, e seu reconhecimento, o universo eletrônico e mágico da Internet, e tantos outros que poderiam ser incluídos nesta modesta relação.

O desenvolvimento de expressão impressionante por trás desse fenômeno levou ao aperfeiçoamento de uma lógica cada vez mais compacta, mais confiável e barata, denominada microcomputador.

Ele possibilita o armazenamento de informações, sua rápida recuperação, processamento, e rearmazenamento das informações processadas. E à medida em que o aperfeiçoamento progride, vão surgindo sofisticadas técnicas de controle de erros, e graças a isso, a integridade das informações armazenadas se torna progressivamente mais elevada. Progressos também têm sido verificados com relação à imunidade contra ruídos, e melhores marcas de diafonia.

Como não poderia deixar de ser, os microcomputadores são cada vez melhores, muito mais confiáveis, mais compactos, de maior capacidade, e mais baratos. O que deu origem à popularização dos sistemas digitais.

O áudio em si foi muito beneficiado com isso.

Em comparação com os produtos analógicos que substituíram, os digitais eram mercadologicamente irresistíveis. Menores, mais fáceis de operar, com mais recursos, eram ainda equivalentes em preços. Mas sabia-se, ao médio e longo prazo os preços também cairiam.

Assim foi que a transcrição fonográfica convencional passou a ser a laser.

Embora ainda hajam processadores de sinal analógicos, pelo andar da carruagem é bem possível que a médio prazo todos eles venham a se tornar digitais.

Por outro lado, muitos dos analógicos atualmente existentes contam com uma série de recursos, todos derivados da aplicação dos micros. Inclusive com possibilidade de controle digital, como é o caso de muitas matrizes.

Diversos amplificadores também empregam micros para controlar suas funções, a exemplo das funções de proteção.

Os fabricantes passaram a usar micros como ferramentas auxiliares nos cálculos de desenvolvimento e de projetos, e também, nas próprias linhas de produção, acelerando e melhorando o controle de qualidade, inclusive de caixas acústicas, e até mesmo para simplificar incrivelmente os procedimentos de testes.

Ao falarmos em estúdios, não podemos deixar de lembrar que a digitalização também entrou por suas portas frontais à todo pano. Instrumentos e orquestras eletrônicas, mesas digitais de mixagem, máquinas gravadoras, processadores de efeitos, estações de trabalho extremamente sofisticadas, toda a sorte de instrumentos e equipamentos virtuais, e mais uma parafernália digital indescritível.

Há muito que os estúdios digitais deixaram de ser um sonho. E essas versões, muito mais baratas e muito mais fáceis de operar, ganham adeptos a cada dia.

Naturalmente, grande parte dos instrumentos musicais se tornou digitalizada. E é exatamente nesse momento que espoca o termo MIDI.

Muitos milhares de produtores musicais aderiram ao surto. Músicos que tocam

instrumentos eletrônicos têm usado MIDI para integrar seus sintetizadores, sequenciadores, máquinas de ritmo, e outros, mesmo em espetáculos ao vivo.

Já nos estúdios, computadores pessoais munidos de software MIDI orientados já alteraram profundamente os métodos de composição eletrônica da música.

Em várias salas e salões de espetáculos, igrejas, pequenos e grandes estúdios, o conceito MIDI tem possibilitado a músicos profissionais e amadores produzir música se altíssima qualidade, a preços reduzidos, e, importante mencionar, a partir de equipamentos relativamente simples.

Este apêndice é dedicado a todos aqueles que tem interesse em qualquer grau pelas coisas digitais.

De fato, esta viagem ao mundo da digitalização, ainda que de caráter introdutório, poderá ser bastante útil aos que sentem que o mundo digital é algo inatingível, de acesso vedado, intocável ou impossível.

Discutiremos a arquitetura básica de um computador típico, a representação binária dos números, aspectos gerais de processamento de sinais, PCM, meios de armazenamento de dados e edição digital.

É verdade que o uso mais simples do MIDI não obriga ao músico conhecer os detalhes estruturais da coisa toda. Mas o MIDI é versátil e aberto o suficiente para estimular ao usuário criativo e dotado de espírito de aventura, construir e utilizar processadores e controladores MIDI programáveis, até os de complexidade considerável.

Assim como os músicos de instrumentos analógicos devem entender bem como seus instrumentos trabalham, a fim de obter deles o máximo resultado, os músicos que usam MIDI também devem conhecê-lo, se possível até o nível de bits, de forma a maximizar a utilização de seus recursos.

C.1 ARQUITETURA BÁSICA DE UM COMPUTADOR

Ao contrário do que muitos pensam, a operação de um computador não é nada misteriosa, mas, ao contrário, bastante simples.

Um computador digital (que trabalha com números, ao contrário dos computadores analógicos, que trabalham com funções matemáticas) tem invariavelmente as seguintes unidades: • memória

- processador lógico e aritmético
- controle de entradas e de saídas

Como mostra a figura C.1.

Essas unidades são interligadas por diversas linhas, denominadas buses, por onde passam dados, sinais de controle e instruções do computador.

A memória arquiva dados, bem como instruções, que dizem à unidade de controle o que fazer com os dados.

Em caráter provisório, o processador lógico e aritmético armazena dados provenientes da memória, e executa cálculos e operações lógicas com eles.

O processador é geralmente equipado com registros, nos quais os dados também são temporariamente armazenados.

A unidade de controle controla o fluxo de dados pelo sistema, retira instruções da memória, e as decodifica. Ela ainda executa instruções, escolhendo os caminhos (buses) para os sinais e controlando a adequada sequência de operações executadas pelo processador lógico e aritmético, e, também, pelas unidades de entrada e de saída.

Finalmente, é a unidade de controle que muda o estado do computador, preparando-o para a próxima operação.

As unidades de entrada e de saída são por assim dizer as interfaces do computador, e em alguns casos, um conversor de velocidades entre computador e seus periféricos, recebendo e transmitindo dados do mundo exterior. Vamos entender a interface como sendo um acoplador entre duas coisas. No caso, entre o computador e meios como disquetes, impressoras, monitores, modems e outros.

A unidade de controle e o processador lógico e aritmético, com seus registros, formam o conjunto que se chama CPU, uma abreviatura para Control Processing Unit.

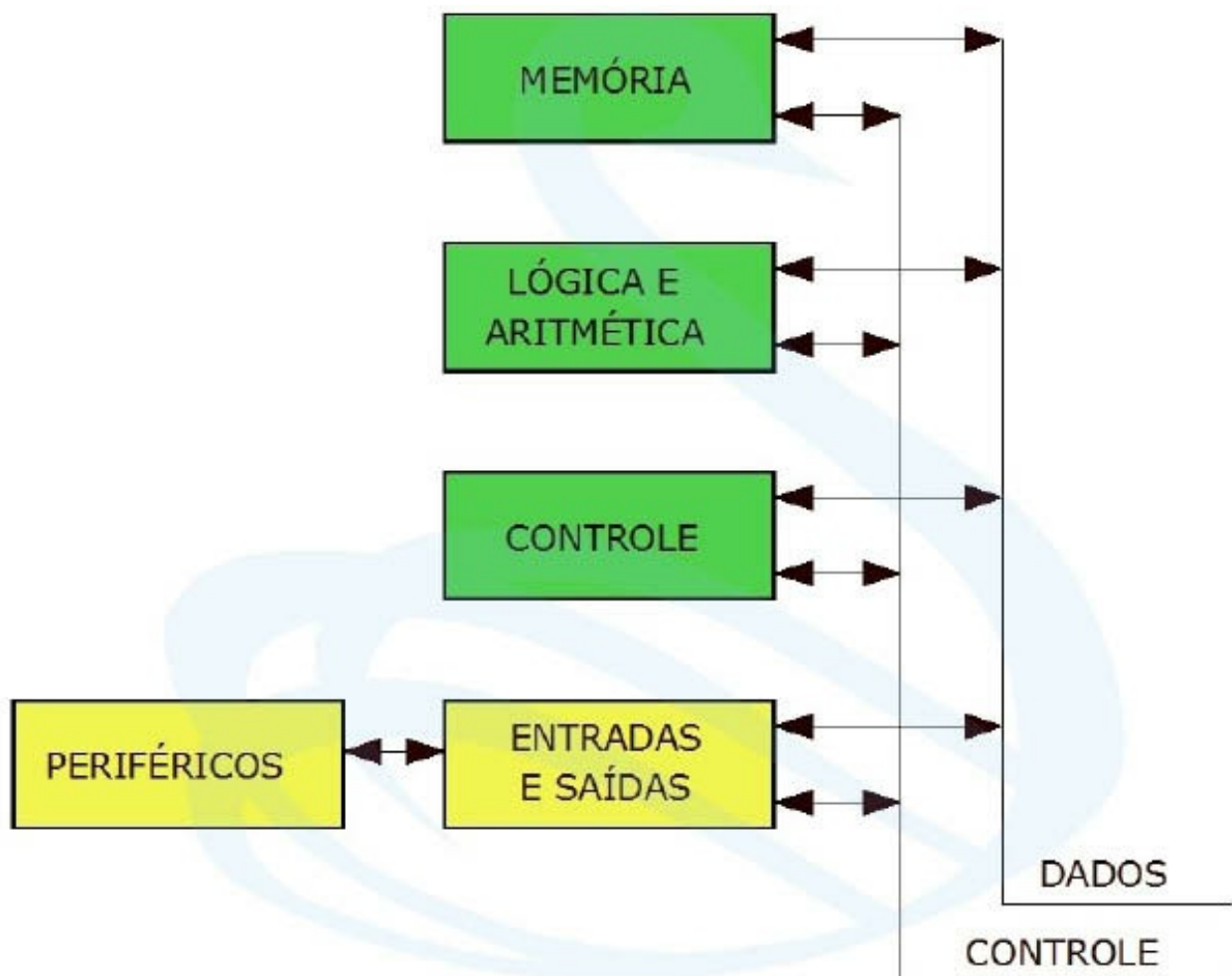


Figura C.1 arquitetura básica de um computador digital acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

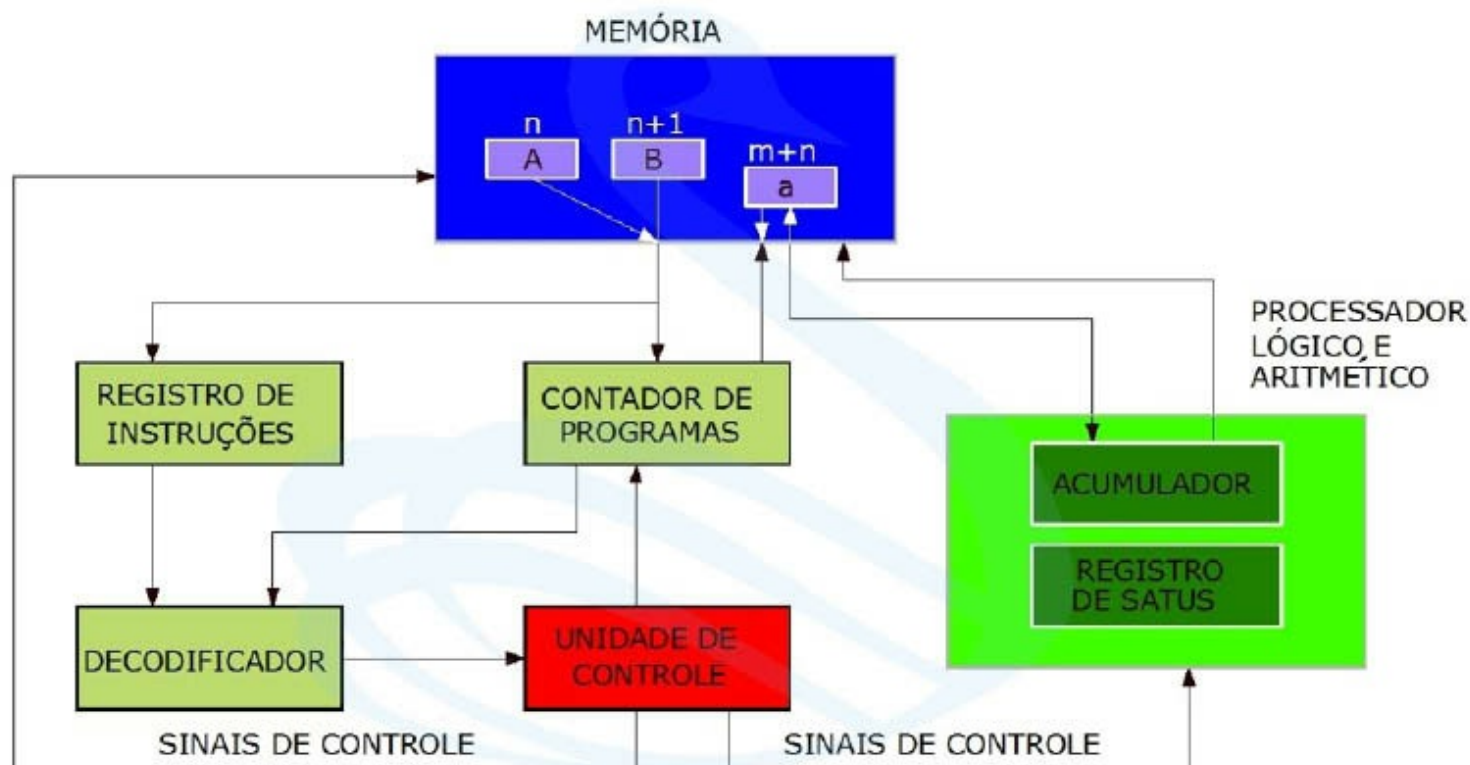


figura C.2 elementos da CPU

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Vamos entender a memória como se fosse uma cidade.

A cada local da memória corresponde um endereço, que é como se fosse um número telefônico da cidade.

Especificando um endereço, podemos, como fazemos ao discar um número telefônico, atingir apenas uma célula da memória. E ainda, ler o que está lá arquivado, e rearmazenar aquele conteúdo, ou outro, novo.

A figura C.2 é um “close up” de uma CPU típica, com seus elementos: o registro de instruções, o decodificador, a unidade de controle, o contador de programa, o somador/comparador, o acumulador e o registro de status.

O ciclo de processamento pode ser dividido em dois subciclos: o de instrução e o de processamento em si.

Acompanhe pela figura C.2 a sequência de eventos que ocorre durante o subciclo de instrução: • a unidade de controle obtém do contador do programa o endereço n da memória • o codificador decodifica esse endereço • a unidade de controle obtém o conteúdo A da memória endereçada (de endereço n) • a lógica da unidade de controle interpreta o conteúdo da memória n como uma instrução (não como um dado) e carrega a instrução A do registro de instruções • a lógica da unidade de controle incrementa o contador do programa em 1 unidade, para o próximo subciclo (consequentemente, o contador de programa opera como um endereçador) • a unidade de controle obtém o conteúdo A do registro de instruções, e o decodificador decodifica essa instrução Agora, a unidade de controle já está pronta para o segundo subciclo, o de processamento.

Os passos a serem dados neste subciclo dependem do tipo de instrução. Uma das instruções muito comum é adição (ADD).

Uma destas instruções tem a seguinte sequência de eventos (acompanhe novamente pela figura C.2): • um dado, arbitrariamente designado a , armazenado na memória de endereço $m+n$ é somado com o conteúdo do acumulador. Se admitirmos que o conteúdo previamente armazenado no acumulador fosse b , o novo conteúdo seria então $a + b$ • o novo conteúdo do acumulador é arquivado na memória de endereço $m+n$, que então passa a ter o conteúdo $a + b$. Um dos grandes avanços dos computadores é não alterar explicitamente o formato de um dado em relação ao formato de uma instrução. Vejamos isto com um exemplo. Imaginemos que temos um computador com 15 endereços (células) de memória (1, 2, ...15).

Quando falamos em instruções, 01xx significa adicionar o que está na memória de endereço xx ao valor atual do registro; 02xx significa multiplicar; 03xx significa dividir; 04xx significa subtrair; 05xx significa ler o conteúdo da memória de endereço xx e transferi-la para o acumulador; 06xx significa copiar o conteúdo do acumulador na memória do endereço xx; 07xx significa imprimir o conteúdo da memória de endereço xx num pedaço de papel.

Assim, 0513 significa ler o conteúdo da memória de endereço 13 e transferi-la para o acumulador.

Por outro lado, quando falamos de dados, 0513 é o número 513. Imaginem ainda que cada endereço de memória tem espaço para 4 dígitos decimais (0000 a 9999).

Pronto! Já temos uma calculadora.

O programa carregado na memória da figura C.3 traz o conteúdo (4444) da memória de endereço 11 ao registro (área de trabalho), soma com o conteúdo (112) da memória de endereço 12, arquiva o resultado na memória de endereço 13 (que deve estar vazia, pois do contrário, o que estivesse lá arquivado seria perdido), traz esse conteúdo de volta para o registro e o divide por 2 (conteúdo da memória de endereço 14), e, depois de arquivar o resultado final na memória de endereço 15, o imprime.

Notem que na parte superior da memória (área de programa) 112 significa somar com o conteúdo da memória de endereço 12, e o 112 arquivado na memória de endereço 12 é o número 112.

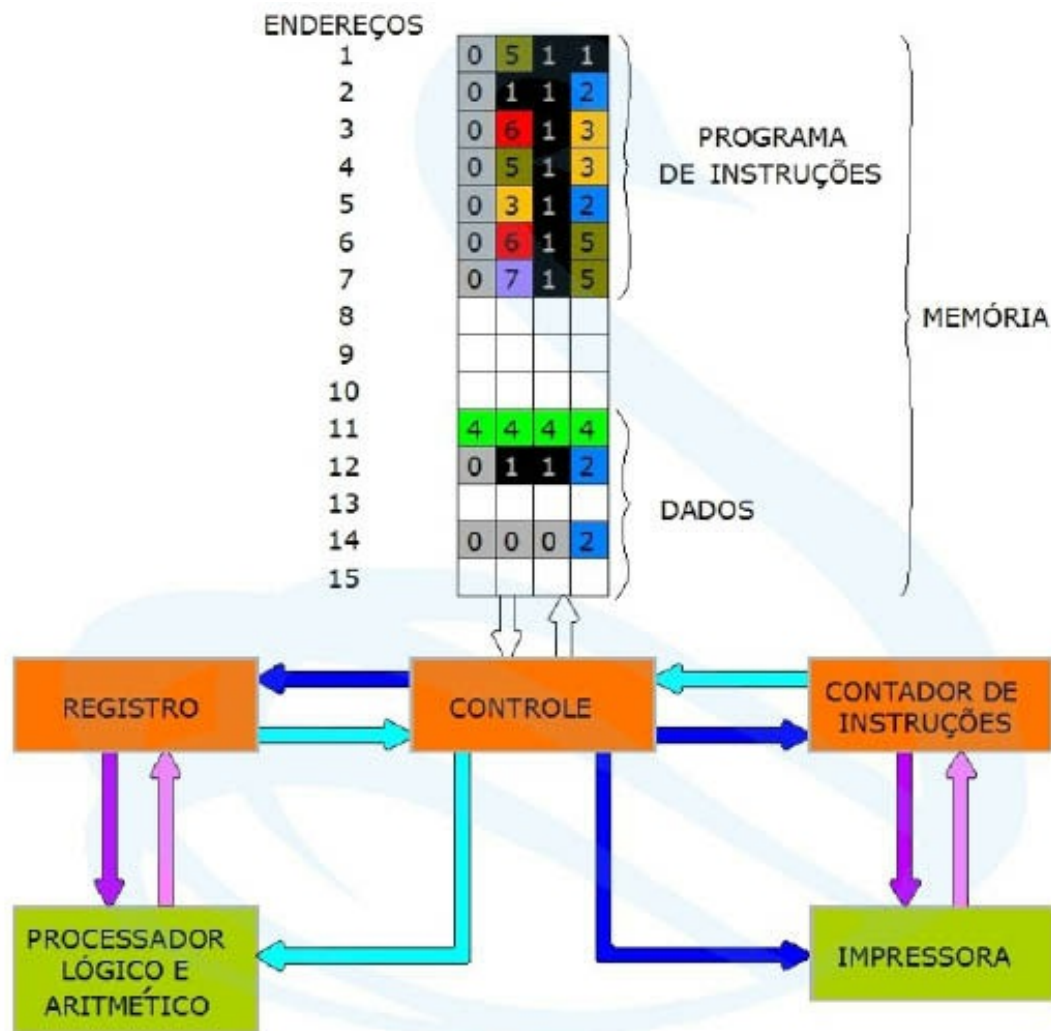


figura C.3 programa carregado na memória acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O controle aqui faz duas coisas: orienta os dados pelos caminhos certos, como um guarda de trânsito faz com os carros num cruzamento de muitas ruas, e incrementa o contador de instruções, o que permite a continuidade do processamento.

Desse modo, a próxima instrução de um subciclo é obtida tão logo a anterior tenha sido processada, e colocada no controle, que decide o que fazer (que portas abrir). O processador lógico e aritmético efetua as contas.

Agora você já tem um controlador. Memória, endereços, instruções, registro, e todos os demais componentes de um computador real.

C.2 ARQUITETURA DA MEMÓRIA

Há dois tipos diferentes de memória, ambos “on line”, isto é, são acessíveis direta e rapidamente: ROM (Read Only Memory) e RAM (Random Access Memory). O acesso a estas memórias é usualmente feito em alguns nanossegundos.

A memória do tipo RAM é a parte das memórias do computador que o usuário pode ler, mas também pode nelas escrever. Geralmente as coisas arquivadas em memórias RAM são perdidas quando o computador é desligado. Esta é a razão do nome dado às memórias RAM: voláteis.

A execução dos subciclos de instrução e de processamento também leva algo em torno de poucos nanossegundos. Entretanto, obter o conteúdo de um endereço de memória num

computador com elevada capacidade de memória pode levar alguns milissegundos (disco) até segundos (fita).

Estes são tempos longos demais para os computadores, que poderiam executar milhões de operações enquanto aguardam os conteúdos da memória. Felizmente, a transferência é muito rápida, e blocos de dados podem ser transferidos praticamente no mesmo tempo que o conteúdo de um único endereço de memória.

Mas como trabalha exatamente a memória?

Do ponto de vista de engenharia, o modo mais simples e mais eficiente para arquivar dados é utilizar o processo binário.

Ou seja, queremos que nosso sistema reconheça (leia) e crie (escreva) dois símbolos, por exemplo, BRANCO e PRETO, ou mais convencionalmente, ZEROS e UNS, ou a presença e a ausência de alguma coisa, ou ainda, + 5 volts e 0 volts.

É como pedir a um cego que distinga entre o claro e o escuro.

Não podemos esperar que ele veja os detalhes do mundo que o cerca. Os computadores também são cegos. Eles só podem ver zeros e uns.

A natureza binária do armazenamento é facilmente obtida com a aplicação de processos físicos elementares. Por exemplo, um ferrite magnetizado x não magnetizado, que é o princípio da memória de ferrite. Um dispositivo carregado x não carregado, que é o princípio da memória capacitiva. Uma substância magnetizada saturada x campo de magnetização nulo, que é o princípio da memória de fita magnética, do disco magnético, e assim por diante.

Qualquer desses processos é capaz de armazenar dados com muita segurança, sendo que a probabilidade de alteração ou perda de informações é baixíssima. Essa capacidade ainda é combinada com a chamada técnica “threshold”.

Imaginem um grupo de capacitores, que podem estar descarregados (0 volt), ou carregados (+ 5 volts).

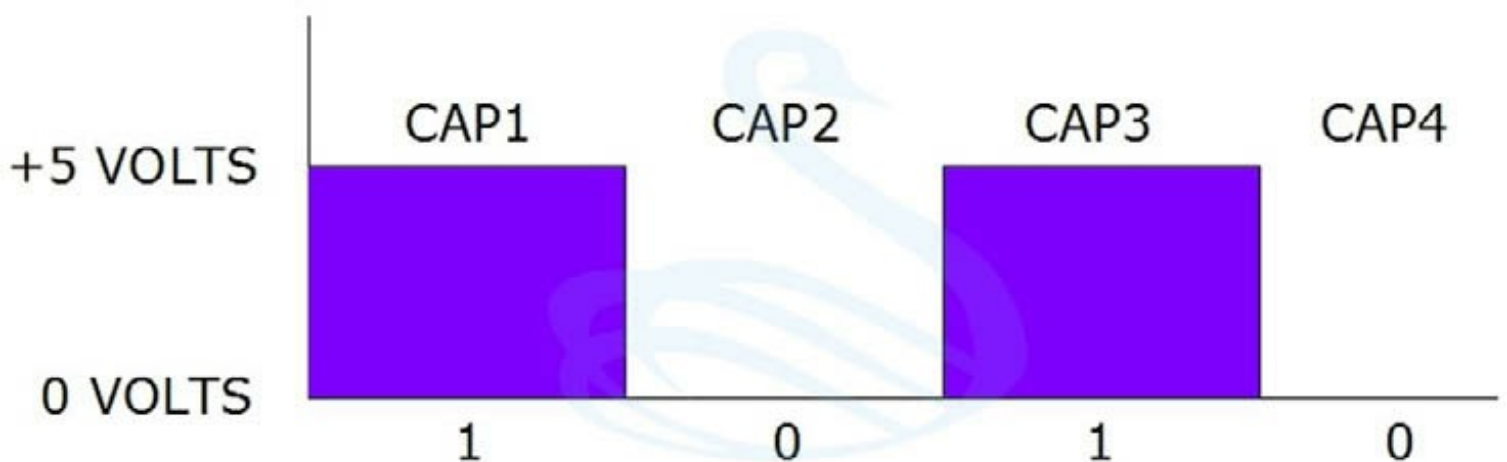


figura C.4 número 1010 armazenado numa memória de 4 capacitores Acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Entendemos que 0 volt representa zeros e + 5 volts representam uns. A técnica consiste em estabelecer que zeros sejam representados por quaisquer valores entre - 10 volts e + 2,5 volts, e os uns por valores entre + 2,5 volts e + 20 volts, por exemplo.

Vamos imaginar que queremos escrever o número 1010 numa memória com 4 capacitores. Teremos o que mostra a figura C.4.

O capacitor 1 foi carregado com + 5 volts, o capacitor 2 está com 0 volts, o capacitor 3 também está carregado com + 5 volts, e o capacitor 4 com 0 volt.

Imaginemos que um ruído interferente mude esta condição. E após 10 minutos teremos as seguintes medidas: 7,0 volts no capacitor 1

1,4 volts no capacitor 2

4,0 volts no capacitor 3

-10,0 volts no capacitor 4

A técnica “threshold” permite que, mesmo com estas alterações, a interpretação da memória ainda seja o número 1010. Nas memórias reais, esse tipo de reatualização (leitura, interpretação e devolução dos valores nominais às memórias) é feito automática e constantemente, 10.000 vezes por segundo, ou mais.

Esta é uma das funções das memórias, e circuitos associados, que lá estão exatamente para isso. Além disso, há também meios para a detecção e correção de erros, de modo a assegurar a integridade dos dados.

Vejamos isto com o exemplo do disco magnético. Com ele girando, se faz um teste de conteúdo de bits (saturação x não magnetização). Veja a figura C.5.

Se o disco girasse precisamente na velocidade ideal, ou especificada como nominal, os bits seriam lidos corretamente nas posições centrais. Além dessa verdade teórica não acontecer, também os relógios (cristais) dos computadores não são absolutamente perfeitos. Apesar de tudo isso, os bits ainda são lidos corretamente, como mostra a figura.

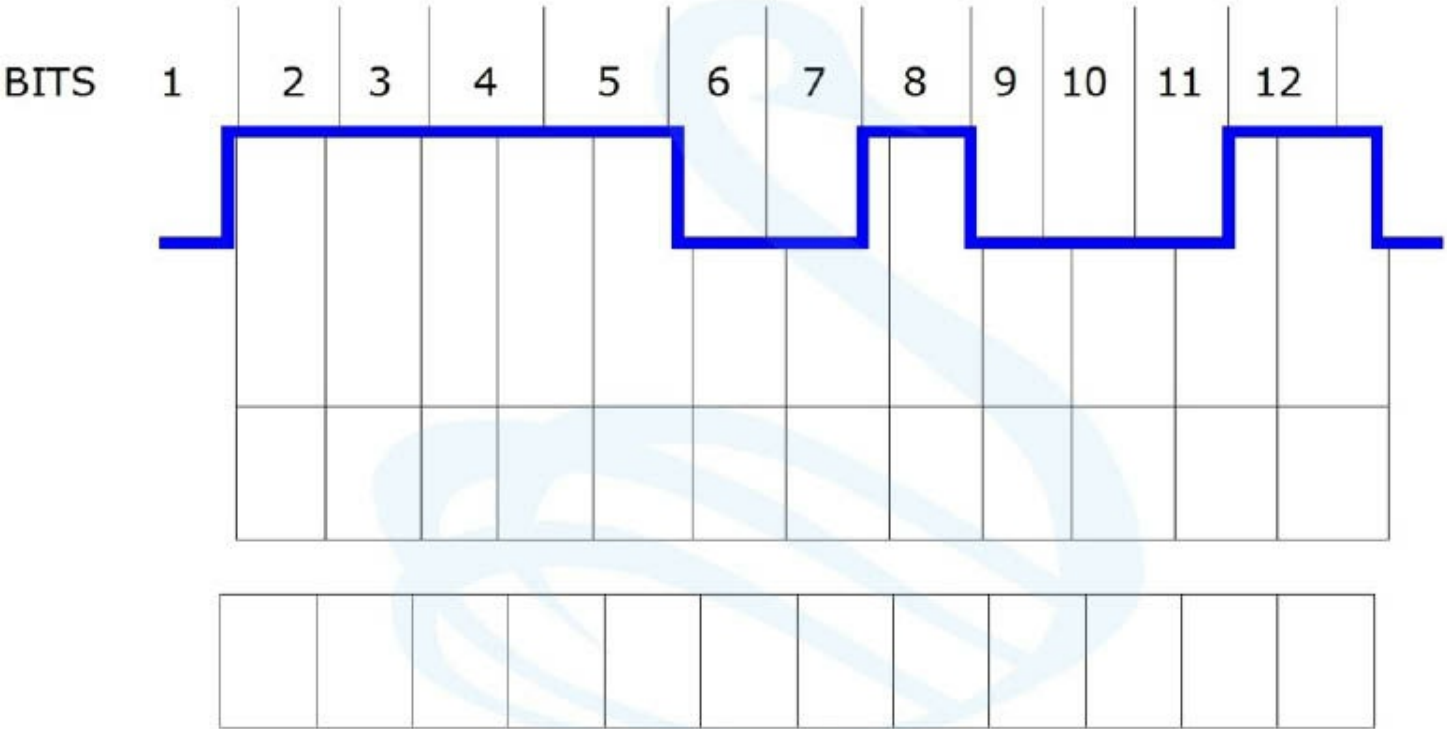


figura C.5 representação da leitura da memória de um disco magnético acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para se ter acesso a qualquer memória é preciso fornecer o endereço da célula desejada. Vamos entender memórias como algo unidimensional, com uma sequência de valores, apresentados em série, como mostra a figura C.6. Ou seja, na forma serial.

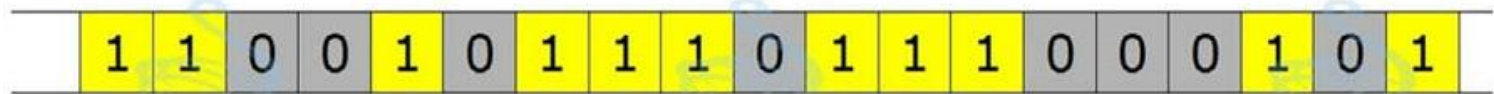


figura C.6 representação da memória unidimensional acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As memórias construídas a partir de circuitos integrados possuem excelente densidade (quantidade de dados por unidade de tamanho).

Um pequeno chip (circuito integrado) á capaz de armazenar centenas de milhares de zeros

ou uns. São memórias para as quais as funções ler e escrever são possíveis.

Outras memórias, utilizando técnicas óticas de microfotografia, têm densidade extremamente elevada, mas a função escrever não é possível (pense num microfilme), e o acesso é limitado ao sequencial, ao contrário do acesso aleatório (RAM), onde é possível obter informações de qualquer dos endereços, diretamente.

Em outras palavras, se a memória é de acesso sequencial, para obter informações do endereço n , é preciso inicialmente ler as informações dos endereços 1, 2, ..., $n-2$, $n-1$ e n .

Isto é uma grande limitação na aplicação dos computadores.

Entretanto, é o ideal para vídeo discos e discos PCM operando com os mesmos princípios.

C.3 REPRESENTAÇÃO BINÁRIA Está é uma das noções mais importantes que se pode ter para melhor compreender as técnicas digitais.

Vimos que um dos meios mais eficientes de se arquivar dados é usando zeros e uns. Então, impõe-se a pergunta: como traduzir tudo o que nos é familiar em zeros e uns?

Muito simples.

Pense, por exemplo, no código Morse.

E pense nos traços simbolizando uns, e pontos simbolizando zeros. Aí está! Apenas estamos interessados em codificar números.

Mas para os que estiverem interessados em tratar da codificação de letras do alfabeto, recomendo a leitura do código ASC II.

A técnica é a seguinte. Inicialmente é preciso saber qual o número inteiro mais elevado que vai ser codificado.

Vamos chamá-lo de M .

Então saberemos que é preciso de S “bits” (binary digits, ou zeros e uns) para codificá-lo. O valor S pode se calculado pela expressão

$$S = \log_2 M \quad (C.1)$$

Para quem preferir não usar logaritmos, divide-se o valor de M por 2, este resultado é novamente dividido por 2, o novo resultado dividido mais uma vez por 2, e assim por diante, até que seja obtido um número menor do que 1. S é a quantidade total de divisões.

Exemplo. Se $M = 33$, $S = 6$. Ou seja, 1ª divisão $33/2 = 16,5$

2ª divisão $16,5/2 = 8,25$

3ª divisão $8,25/2 = 4,125$

4ª divisão $4,125/2 = 2,0625$

5ª divisão $2,0625/2 = 1,03125$ e 6ª divisão $1,03125/2 = 0,515625$

Isto significa que um código utilizando 6 bits pode representar o 33 (na verdade, chega até

63).

Agora que sabemos o que é o comprimento de cada palavra (quantidade de bits) necessário para representar um determinado número, precisamos saber como combinar zeros e uns para codificar os números.

A técnica consiste em saber efetivamente como dizemos os números. Quando dizemos 4.732, estamos dizendo

$$(4 \times 1000) + (7 \times 100) + (3 \times 10) + (2 \times 1)$$

ou como nos ensinaram no primário: milhar, centena, dezena e unidade.

Mais precisamente, podemos escrever:

$$4.732 = 4 \times (10 \times 10 \times 10) + 7 (10 \times 10) + 3 (10) + 2 (1)$$

E porque o dez aparece sempre, esta notação é denominada decimal.

Como, n vezes, matematicamente, nossa representação fica

$$4.732 = 4 \times 10^3 + 7 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 2 \times 10^0$$

Lembre-se que, por definição, $10^0 = 1$.

Baseados no mesmo princípio, podemos concluir uma representação mais genérica, para codificação de números em código binário.

$$M = C_1 \times 2^{S-1} + C_2 \times 2^{S-2} + C_3 \times 2^{S-3} + \dots + C_S \times 2^0 \quad (C.2)$$

Vamos considerar o número 33. Pela notação acima ele é escrito como segue:

$$33 = 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

Novamente, . E nosso código fica 100001.

Outro exemplo.

$$63 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

E o código é 11111.

Agora sabemos o que é código binário, e até podemos desenvolvê-lo. Há técnicas precisas para obtenção direta das constantes C.

Mas não discutiremos isso aqui. A tabela C.2 mostra um código de 4 bits codificando valores de 0 a 15.

tabela C.2

DECIMAL	BINÁRIO
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

E assim, nossa memória, como escrita na figura C.3 passa a ter a forma da figura C.7.

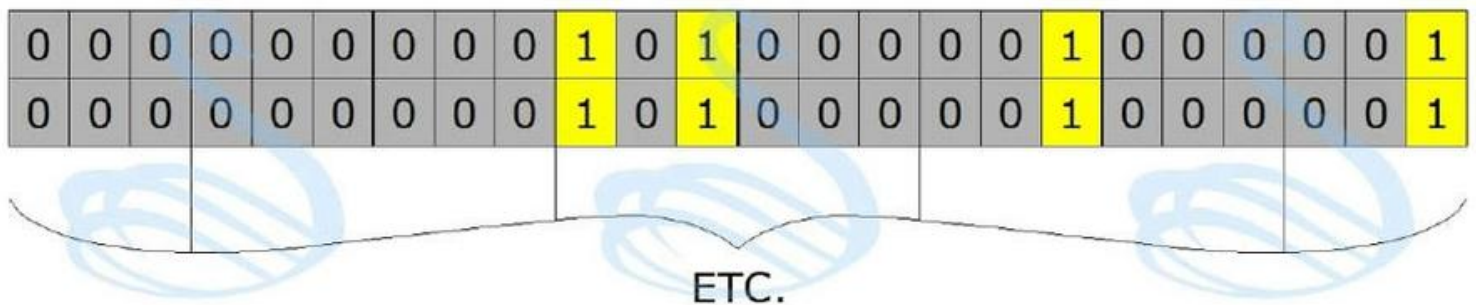


figura C.7 conteúdo da memória da figura C.3 escrita em código binário acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A pergunta que deve estar lhe ocorrendo.

E como fazer operações matemáticas com códigos?

Outra vez, é extremamente simples.

Vamos considerar apenas a multiplicação.

Lembra-se da tabuada do primário? São menos de 100 contas que precisamos decorar:

1x1, 1x2, ..., 2x1, 2x2, ..., 9x9, ..., 10x1, 10x2, ..., e 10x9

Lembrando que os computadores são cegos, vamos ensiná-los com uma tabuada de multiplicação muito mais simples do que a que aprendemos: $0 \times 0 = 0$

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

Isso é tudo, exceto que antes de multiplicar também é preciso somar. Para o computador, a conta $12 \times 3 = 36$ fica 1100

1100

1100

0000

0000

0000

$$0100100 = 36$$

Para fazer a conta acima, ele deverá ser ensinado que $0+1 = 1$

$$1+0 = 1$$

$$0+0 = 0$$

$$1+1 = 10$$

Desse modo, ele multiplica por sua tabuada, e na hora de somar usa os dados de adição ensinados. Quando soma $1+1$ para resultar 10, ele escreve o zero e “leva” o 1 para a próxima “casa”.

C.4 PONTOS FLUTUANTES

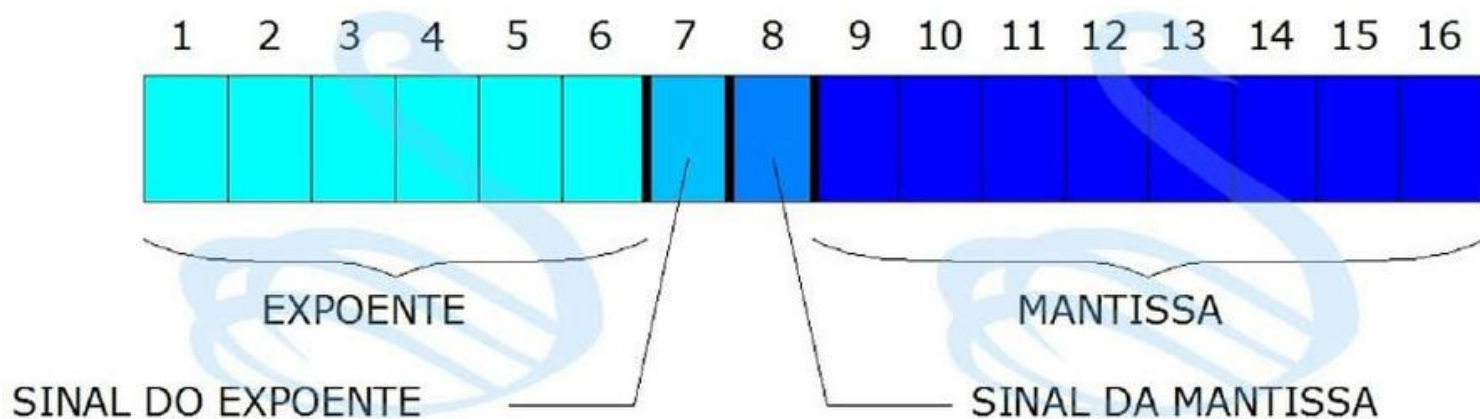


figura C.8 técnica de representação de ponto flutuante acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A necessidade de se trabalhar não apenas com números inteiros, mas com números fracionários, e até negativos, é evidente. A técnica de representação utilizada para isso é chamada representação de ponto flutuante. Existem muitas variações de técnicas, mas o fundamental em todas elas é usar uma sequência dividida em 4 partes, como mostra a figura C.8.

Temos a mantissa, o sinal da mantissa, o expoente e o sinal do expoente.

Pensemos em $3/512$, e na sequência da figura C.8, que mostra o real potencial do computador, e teremos

001001/0/1/00000011

Isto porque

$$\frac{1}{512} = 1 \times 2^{-9}, 9 = 001001, - = 0, + = 1, e 3 = 00000011$$

Com esta sequência podemos representar números entre

$$2^{-59} \text{ e } 2^{59}$$

Notem que na parte da mantissa há 8 dígitos binários significativos, o que impõe uma certa restrição para dízimas, como $1/3 = 0,333333 \dots$

C.5 CORREÇÃO DE ERROS

Várias técnicas de detecção e correção de erros foram desenvolvidas. Vamos ilustrar apenas dois esquemas de detecção de erros. O de paridade de palavras e o de paridade de blocos, como na figura C.9.

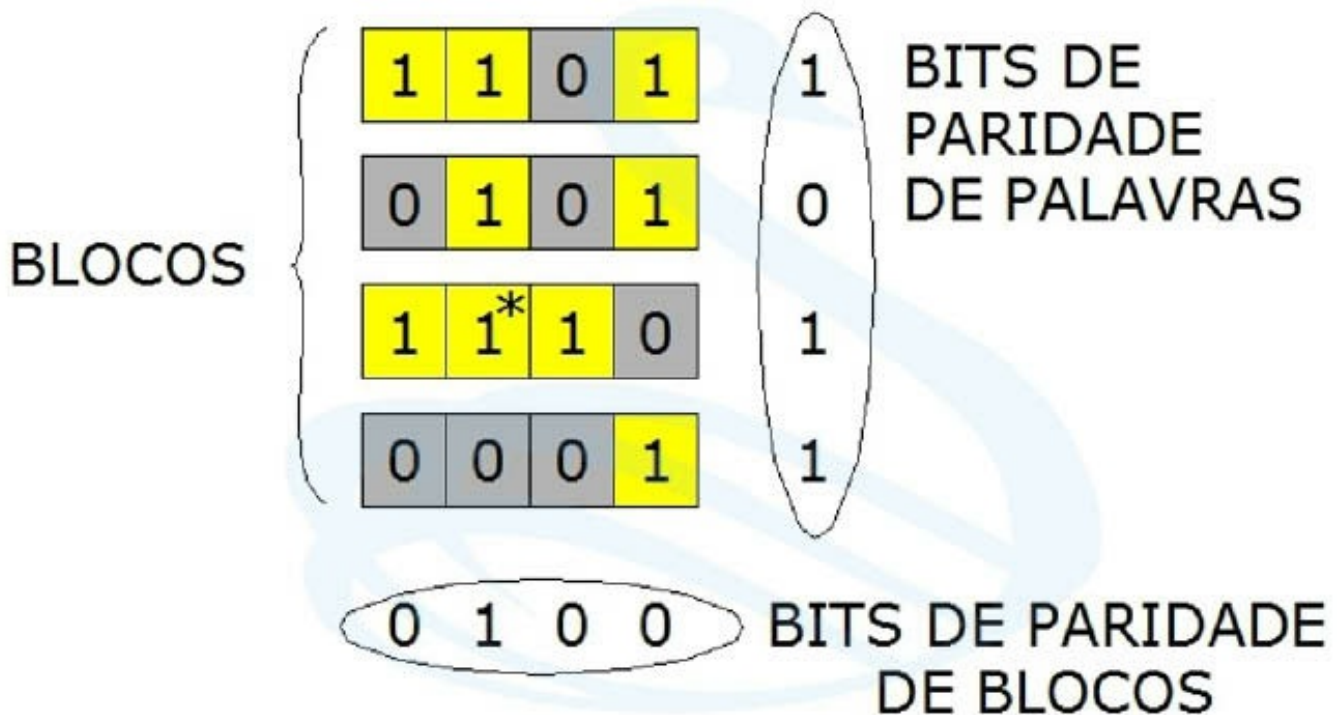


figura C.9 técnica de detecção de erros acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne No esquema paridade de palavras, todos os uns de uma palavra de dados reais são contados. Se a quantidade é ímpar, o dígito 1 é colocado à direita da palavra, no local reservado para o bit de paridade, de modo que a nova quantidade de uns passa a ser par. Se a quantidade de uns, sem o bit de paridade já é par, então o bit de paridade colocado é zero.

O inconveniente desse esquema é que é preciso usar um bit - o de paridade - além do que vimos que era necessário. Desse modo, nossa representação do número 33 teria que ser feita não mais com código de 6 bits, mas de 7.

Se o dado for, por exemplo, 111001, então o código com capacidade de detecção passa a ser 1110010, e se ele fosse 111000, com capacidade de detecção passaria a ser 1110001. Querem ver como isso funciona na prática?

Imaginem um laser disc player funcionando. A leitora laser lê a sequência 1110000 e a passa para frente. Quando houver o choque de paridade (soma de todos os uns, que deve resultar em quantidade par), se sabe que há ao menos um erro (provavelmente em 1 bit).

Mas se quem recebe a informação recebesse 0010110, chegaria à mesma conclusão, de que há erro. E se recebesse 0000110, julgaria que não há erro.

Estas circunstâncias não são falhas de sistema, mas apenas o grau de segurança que se obtém por um determinado preço (inclusão de 1 só bit).

Se assumirmos que há independência estatística entre os bits, o que nem sempre é verdadeiro, a probabilidade desta técnica falhar é melhor do que 1 em 10 milhões.

Por sua simplicidade, este esquema apresenta resultados excelentes. Daí seu uso muito frequente.

A figura C.9 mostra ainda bits de paridade de blocos. Isto se obtém chamando de bloco várias palavras, no caso 4.

E então, os uns são contados horizontal e verticalmente. Por isso mesmo o esquema também é chamado de cheque de paridade horizontal e vertical. Se há um erro com este esquema, a correção é possível.

Imaginem que o dígito assinalado com * na figura foi alterado para 0. O terceiro cheque horizontal acusará um erro. E o segundo cheque vertical indica um erro na segunda coluna. E assim se sabe que o bit a ser corrigido está na terceira linha da segunda coluna.

Tecnicamente é possível obter qualquer grau de proteção de dados, desde que se esteja preparado para pagar o preço, em termos de bits extras.

C.6 HARDWARE E SOFTWARE

Num computador, hardware são os equipamentos em si. Quem têm peso e ocupam espaço.

E software são as instruções, em forma de zeros e uns. Portanto, sem peso e não ocupando espaço.

É como num ser humano. O hardware seria nosso corpo, inclusive cérebro. E o software, as informações que armazenamos, que não tem peso e não ocupam espaço físico.

A propósito, programa pode ser definido como um conjunto de instruções. Antes de desenvolver um programa, os programadores formulam o algoritmo, isto é, o desenvolvimento lógico de passos capazes de atingir o objetivo desejado. E aí o traduzem no programa em si.

C.7 PROCESSAMENTO DE DADOS

Com a utilização cada vez mais extensiva dos computadores, de modo geral, e em particular na indústria de processamento de sinais, aliás, ao que me referi antes como sendo o fenômeno-mãe do qual decorre a digitalização no áudio, surge a necessidade de transmitir dados à distância.

Para transmitir dados à distância é preciso de um meio qualquer.

Se partirmos para analisar a infra-estrutura básica de uma cidade típica, e compreendermos que o meio mais comum, de maior disponibilidade e, conseqüentemente, o mais barato, é a linha telefônica, então estaremos em condições de entender porque logo de início houve um grande esforço para viabilizar a idéia de usar esse meio para transmitir dados à distância.

Ocorre que os dados, na sua forma de sequência de zeros e uns, ou seja, ondas quadradas, como mostra a figura C.10, não podem ser transmitidos com eficiência sequer razoável através

de linhas telefônicas. Para tanto, é preciso transformar os dados de sua forma digital para a forma analógica (processo de codificação), e depois voltar à forma digital (processo de decodificação). E assim surgiu o MODEM (MODulador-DEModulador), que codifica o sinal numa extremidade da linha, e o decodifica na outra.

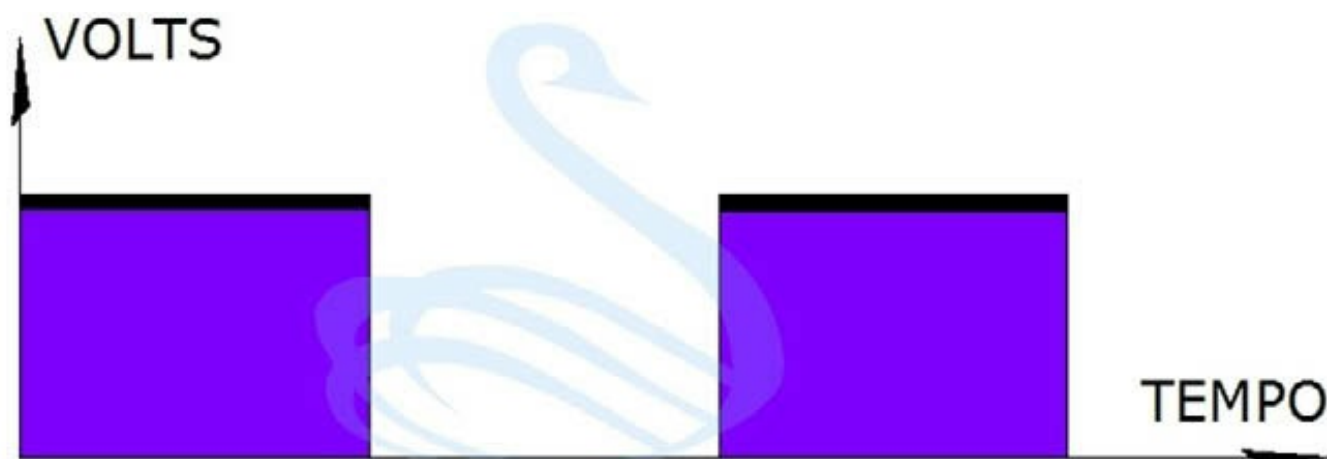


figura C.10 transmissão de zeros e uns acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Em sua forma mais simples, o MODEM codifica zeros fazendo-lhes corresponder uma onda sinusoidal de 2.025 kHz, e os uns, fazendo-lhes corresponder outra onda sinusoidal, agora de 2.225 kHz

Como essas frequências estão dentro do espectro de áudio telefônico, isso é tudo que é preciso para efetuar a transmissão, e depois, recuperar a forma digital dos dados.

Uma vez que é possível converter a forma digital em analógica, e depois a analógica em digital, por que não o inverso? Ou seja, converter inicialmente a forma analógica em digital, para depois recuperar a forma analógica.

As vantagens evidentes, como o processamento digital após a primeira conversão, não passaram despercebidas pela indústria de processamento. E logo surgiram dois caminhos para fazê-lo.

O mais importante deles, do ponto de vista do que estamos tratando aqui, é o método que se baseia em tornar amostras da forma de onda analógica, e representar digitalmente a amplitude de cada amostra através de códigos binários.

Do outro lado, os sinais digitais podem ser convertidos de volta para a forma analógica, propiciando a reconstrução da forma de onda original. O outro método, denominado vocoder, não será aqui analisado, pois não nos é de interesse.

C.8 PCM

Um sistema analógico-digital-analógico se constitui dos seguintes blocos funcionais: entrada analógica, conversão analógico-digital (A/D), processamento digital, conversão digital-analógica (D/A), armazenamento analógico, e saída analógica.

O armazenamento analógico pode ser suprimido em alguns casos, ou ser substituído por armazenamento digital, como num laserdisc. Neste caso, este bloco funcional segue o

processamento digital.

No domínio analógico, as variáveis podem assumir quaisquer valores dentro de limites preestabelecidos. Por exemplo, a temperatura pode ser 32,14517 °C, ou 32, 14 °C, ou ainda, 32 °C.

A voltagem pode ser 6,83396421 volts, ou 6,833 volts, ou 6 volts, *etc.*

Entretanto, ao introduzirmos a noção de ruído analógico, torna-se óbvio que a resolução não pode ser melhor do que o valor do ruído.

Imaginemos que no caso da voltagem, a figura de ruído é da ordem de 0,01 volt. Então, não terá sentido falarmos em 6,83396421 volts, pois se o compararmos com 6,83300000 volts, podemos dizer que a diferença pode ser devida ao ruído.

Em outras palavras, o ruído impõe uma limitação definitiva à resolução analógica. Ainda assim, as variáveis podem assumir tantos valores quanto desejarmos.

Já vimos que no domínio digital só podemos representar um conjunto finito de valores. O tamanho desse conjunto e a precisão da quantidade digital são funções do código utilizado.

De fato, com 2 bits só podemos representar 4 números. Se precisamos de melhor resolução, ou mais números, precisamos também de mais bits.

Para que cada palavra digital possa representar um sinal proveniente do domínio analógico, cada palavra é associada a uma região do sinal analógico. Por isso, é preciso dividir o domínio analógico na mesma quantidade de regiões que as palavras digitais disponíveis. Este processo é chamado quantização.

Pensemos num sinal analógico variando entre 0 e +1 volt, que deve ser representado por palavras de 4 bits. Será preciso dividir a faixa 0 a + 1 volt em 16 regiões, ou níveis de quantização, como mostra a figura C.11.

Como fizemos todos os níveis de quantização iguais entre si, neste exemplo os espaçamentos entre os níveis é de $1/16 = 0,0625$ volt.

Qualquer valor de voltagem entre 0 e 0,0625 volt será representado pela palavra 0001, qualquer valor de voltagem entre 0,0625 e 0,1250 volt será representado pela palavra 0010, e assim por diante. A essa técnica se dá o nome de Modulação por Código de Pulsos (MCP), ou, como é mais conhecida, Pulse Code Modulation (PCM). Como mostra a figura C.11, os espaçamentos são iguais entre si. E disso resulta um PCM linear. Mas os espaçamentos não precisam ser uniformes. Neste caso temos então a compressão/expansão, ou seja, o PCM logarítmico.

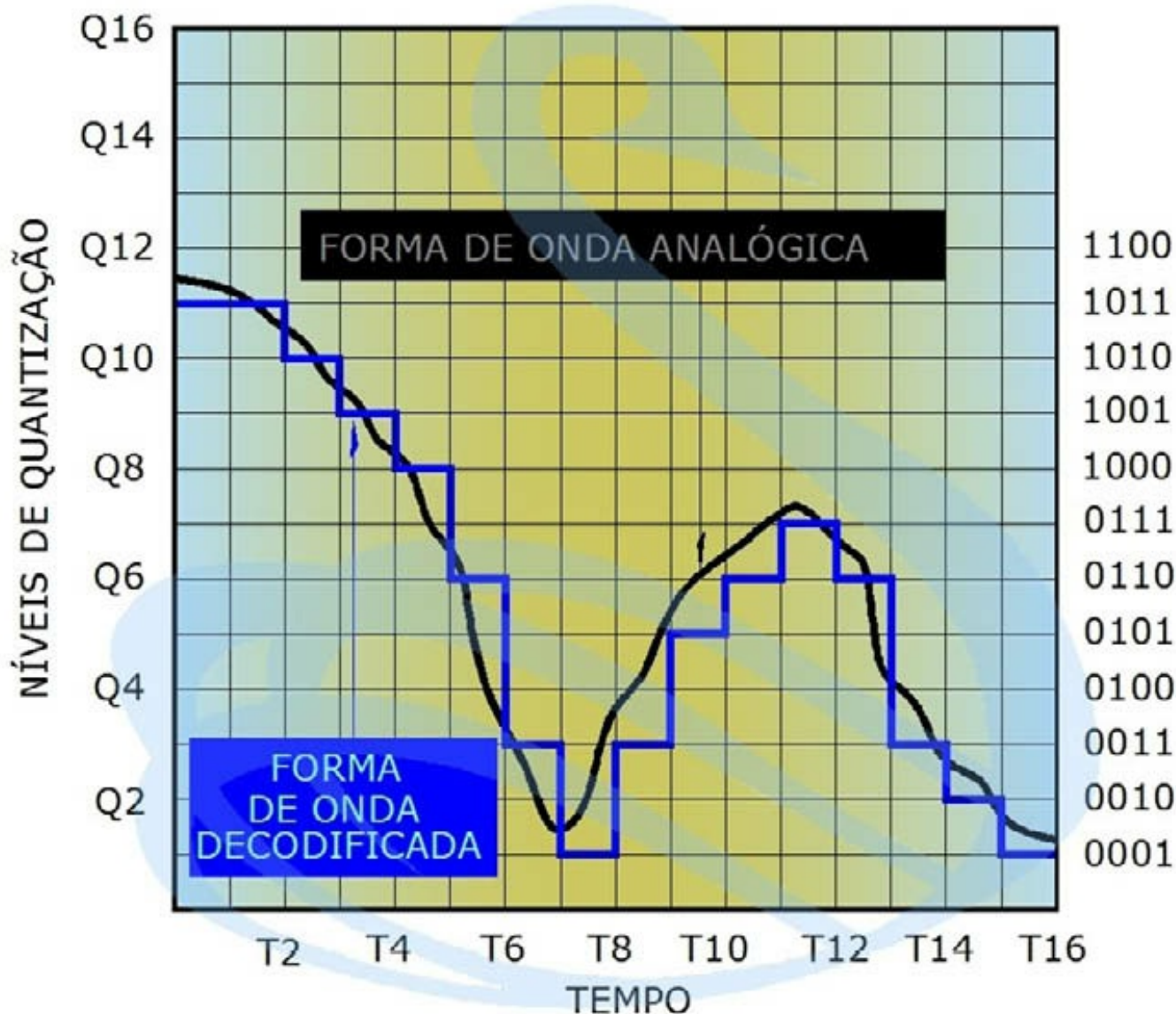


figura C.11 níveis de quantização acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Como vimos, qualquer valor de tensão dentro de um mesmo nível de quantização é representado por uma mesma palavra. Isso equivale dizer que o processo de quantização cria erros, chamados erros de quantização.

Devemos observar que se usarmos mais um bit em nossa palavra, teremos o dobro das regiões de quantização, ou níveis de quantização, e o erro de quantização será apenas metade do que era.

O aumento da quantidade de bits reduz progressivamente o erro de quantização, mas ainda assim, sempre haverá algum erro, pois em qualquer caso teremos um número finito de palavras representando infinitos valores de tensões analógicas.

C.9 AMOSTRAGEM

Até agora vimos como codificar digitalmente um valor instantâneo de tensão. Mas o sinal analógico com sua forma de onda dinâmica varia com o tempo. E isso obriga a dividir a variável tempo contínuo numa série de pontos, como ilustra o eixo horizontal da figura C.11.

Esses pontos são denominados pontos de amostragem, e em cada um deles a tensão analógica é codificada numa palavra digital.

Consequentemente, uma sequência de palavras digitais é produzida com a mesma taxa de amostragem.

Um filme de cinema é feito a partir de 24 “fotografias” consecutivas apresentadas em cada segundo.

E isso é o suficiente para criar a ilusão de movimento contínuo.

Pode-se dizer que cada uma dessas “fotografias”, ou quadros, como são tecnicamente chamadas, é uma amostra. O mesmo princípio é utilizado no áudio digital. Essa é a essência do processo chamado amostragem (sampling), ou amostragem digital (digital sampling).

Os conceitos de amostragem discreta e amplitude quantizada não são iguais.

A quantização é o processo de reunir uma gama de voltagens e representá-las todas por uma única palavra digital, porquanto amostragem discreta significa que apenas alguns valores específicos da variável tempo estão sendo considerados.

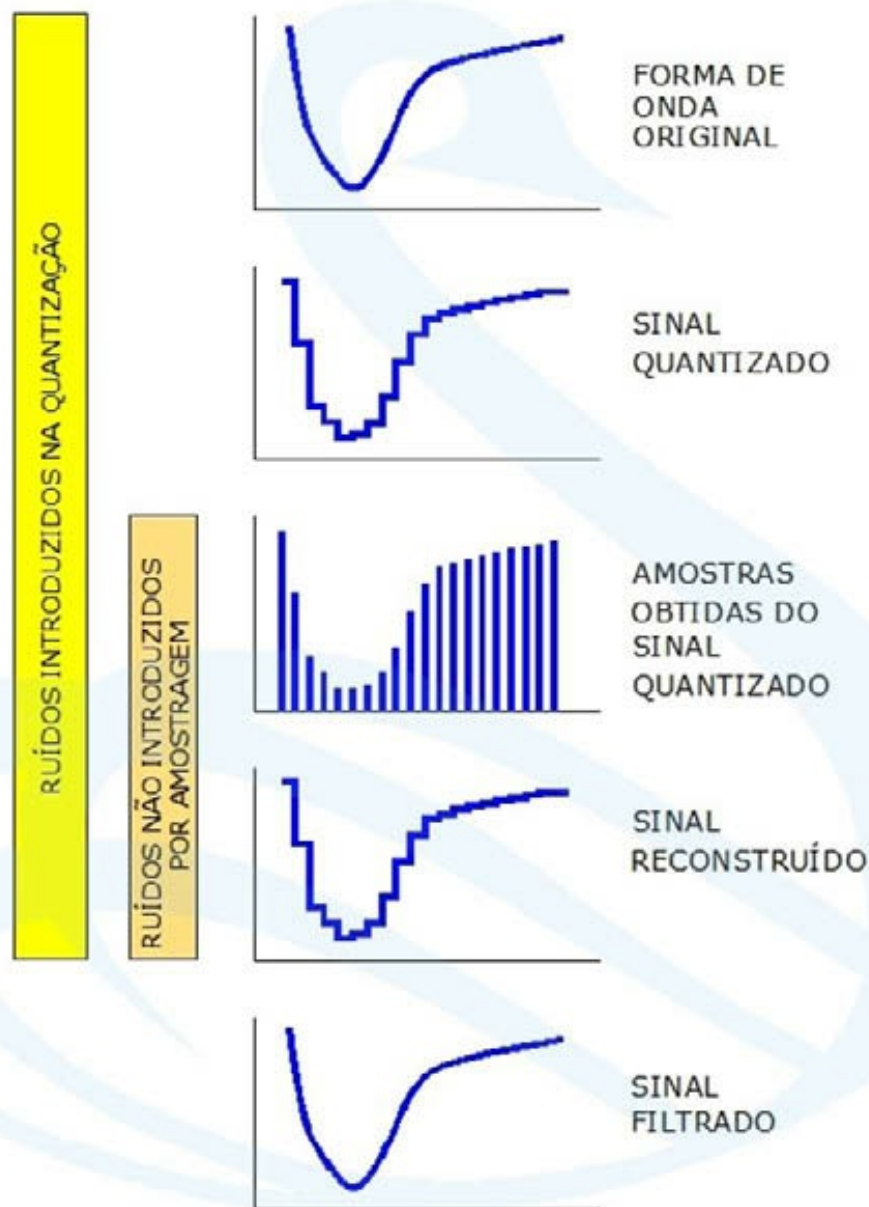


figura C.12 passos de conversão e introdução de ruídos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Todas as variações do sinal analógico entre os pontos de amostragem são desprezadas.

Felizmente, se a banda passante do sinal analógico é limitada em relação a taxa de

amostragem, ou taxa de Nyquist, a informação com os valores analógicos amostrados é virtualmente idêntica ao sinal analógico não amostrado.

Poderia se dizer que, mesmo ignorando todas as variações do sinal analógico entre os pontos de amostragem, não se perdem as informações. Isto significa que a amostragem bem feita preserva todas as informações, ao passo que a quantização sempre perde informação.

Como se faz a amostragem de modo correto? Vamos lá.

Pode-se provar matematicamente que, se o sinal tem espectro limitado por uma frequência superior, acima da qual não há energia, e por outra inferior, abaixo da qual também não há energia, que o número de amostras por segundo deve ser igual ou superior a duas vezes a frequência superior.

Este é o conceito da taxa de Nyquist.

Logo, se imaginarmos uma taxa de amostragem de 50.000 amostras por segundo, ou seja, frequência de amostragem de 50 kHz, não deverá haver energia no sinal analógico original acima de 25 kHz.

O modo de limitar a banda do sinal analógico é usar um filtro passa baixas, muito rápido, antes do processo de amostragem. Assim, ao contrário do processo de amostragem, essa filtragem também perde informações, apenas por reduzir a banda passante.

O que por sinal é preferível, já que a filtragem apenas remove essas frequências, especialmente acima da frequência de Nyquist.

A figura C.12 mostra os passos de conversão, e exatamente onde os ruídos são introduzidos.

C.10 O SISTEMA COMPLETO

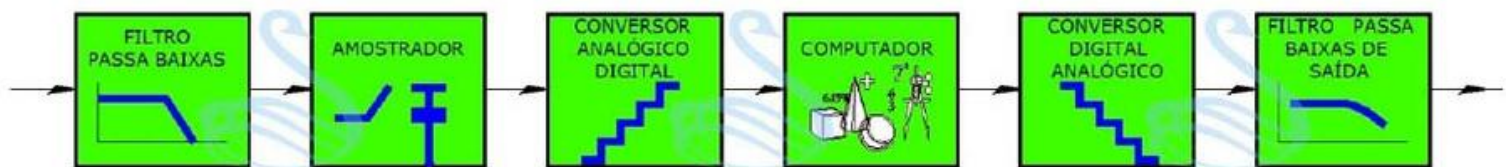


figura C.13 sistema de áudio digital completo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura C.13 mostra um sistema de áudio digital completo.

O sinal analógico de entrada passa pelo filtro passa baixas como mencionado, de modo a ter sua banda passante limitada.

A seguir, o sinal filtrado é amostrado, e as intensidades de cada amostra preservadas, de modo a dar tempo para que o conversor A/D possa codificar cada amostra em palavras digitais.

Agora, já no domínio digital, o computador pode processar o sinal à vontade, e executar funções como introduzir atrasos, transmitir dados, arquivá-los, filtrar o sinal, reverberá-lo, comprimi-lo, *etc.*

Na saída do computador ocorre o processo inverso.

A sequência de palavras digitadas é convertida numa série de voltagens analógicas pelo conversor D/A, e finalmente, um filtro passa baixas regenera a forma de onda analógica a partir da série de voltagens analógicas.

C.11 RELAÇÃO SINAL - ERRO DE QUANTIZAÇÃO

Uma das medidas importantes da qualidade da conversão digital é a relação entre o sinal máximo e o erro de quantização. A relação é determinada pela quantidade de bits utilizada na conversão.

Para sinais quantizados com palavras de n-bits, a relação sinal/ruído é

$$\sqrt{1,5 \times 2^n} \quad (C.3)$$

o que traduzido em decibels, é

$$(6,02 \cdot n) + 1,76 \quad (C.4)$$

Ou seja, cada bit contribui com cerca de 6,0 dB para o desempenho do sistema.

C.12 SISTEMA DE EDIÇÃO

Um editor digital é um programa de computador que opera com dados residentes na sua área de trabalho. Para tanto, o editor coloca à disposição do operador uma série de comandos, empregados para atingir certos objetivos.

Este recurso é extraordinariamente funcional, rápido e acima de tudo, uma ferramenta de extraordinária precisão. Alguns desses comandos, que podem ser disponibilizados praticamente sem quaisquer restrições, são:

LEIA (READ) F ₃	traga os dados denominados F ₁ para a área de trabalho
LIGUE (MERGE) F ₂	traga os dados denominados F ₂ para a área de trabalho, e ligue-os com o final do que já estiver lá
PROCURE (FIND) X	procure a linha contendo o símbolo X e fique lá
SUBSTITUA (REPLACE) /X/Y	substitua X por Y na linha em que estiver
PULE (DELETE) n ₁ , n ₂	não considere as linhas n ₁ , n ₂
ARMAZENE (SAVE) EM F ₃	armazene o que estiver na área de trabalho no arquivo F ₃

Apenas com esses comandos já é possível barbarizar. Querem ver? Vamos fazer juntos uma edição digital. Vamos supor que durante uma gravação digital, cada amostra (1/50.000 segundos) foi colocada numa linha de um arquivo que denominados GRAVAÇÃO 1, como abaixo: linha 1 312

linha 2 715

linha 3 020

linha 4 358

linha 5 971

linha 6 210

linha 7 713

linha 8 358

- -

- -

linha 100.000 382

Estas 100.000 linhas representam apenas 2 segundos de gravação. E os números à direita são os códigos digitais das amostras nos tempos 1/50.000, 2/50.000, *etc.*

É claro que eles deveriam estar escritos em códigos binários, mas usamos a notação decimal para simplificar. Vamos supor ainda que fizemos outra gravação do mesmo grupo musical tocando a mesma música, e arquivamos no arquivo GRAVAÇÃO 2: linha 1 135

linha 2 318

linha 3 721

linha 4 421

linha 5 539

linha 6 781

linha 7 132

linha 8 158

- -

- -

linha 100.000 662

Se quisermos, por exemplo, preservar as primeiras 6 amostras da GRAVAÇÃO 1, e juntá-las com as linhas de 7 a 100.000 da gravação 2 bastará entrar com os seguintes comandos:

READ GRAVAÇÃO 1

MERGE GRAVAÇÃO 2

DELETE 7,100.006

SAVE MASTERTAPE

E já teremos nossa edição no arquivo MASTERTAPE

Naturalmente, os estúdios possuem vários equipamentos especiais para desenvolver

gravações, mixagens, *etc.* Esta é uma das áreas pioneiras quando se pensa na evolução do áudio digital.

Ao lado de incríveis equipamentos de edição, mesas de mixagens totalmente digitais e com recursos transbordando pelo ladrão, máquinas de gravação multicanais totalmente digitalizadas, processadores digitais em profusão, capazes de efeitos tipo reverberação, eco, reflexões primárias, atraso, modulação, pan automático (direção, velocidade e profundidade), gate, compressão, equalização paramétrica, e outros, é fácil perceber que o músico tem sido beneficiado, não só no que diz respeito a composição em si, mas também, nas facilidades que encontra para executar peças, sempre, e cada vez mais, apoiado em instrumentos também digitais, e por isso mesmo, repletos de recursos úteis.

Os benefícios das técnicas digitais também são aproveitados pelos engenheiros de áudio, desde o uso de processadores extremamente versáteis, até a economia de tempo que resulta com o emprego de instrumentos, como é o caso do analisador TEF.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

apêndice D
espectrometria por atraso de
tempo (EAT) e os analisadores
TEF



Conteúdo do apêndice D

APÊNDICE D - ESPECTROMETRIA POR ATRASO DE TEMPO (EAT) E OS ANALISADORES TEF

D.1 INTRODUÇÃO

D.2 O QUE É A EAT

D.3 TEMPO E DISTÂNCIA D.4 OS ANALISADORES TEF

D.5 TECHRON 12

D.6 UTILIZANDO O ANALISADOR TEF

D.6.1 3D

D.6.2 FTC

D.6.3 EFC

D.6.4 ETC

D.6.5 NPP (Nyquist Phase Plot) D.6.6 PFC (Phase x Frequency Curve) D.6.7 Fase

Absoluta (F) D.6.8 Fase Relativa (q) D.6.9 Ângulos de Fase (F D e q D) D.6.10

Polaridade D.6.11 Atraso de Fase D.6.12 Atraso de Sinal D.6.13 Bode Plot D.6.14

Nichols Plot D.7 OUTRAS MEDIÇÕES

D.8 MAIS APERFEIÇOAMENTOS

APÊNDICE D - ESPECTROMETRIA POR ATRASO DE TEMPO (EAT) E OS ANALISADORES TEF

D.1 INTRODUÇÃO

Gostaria de começar este apêndice com um esclarecimento. Sinais de áudio podem ser atrasados. Em microssegundos, milissegundos, segundos, minutos, horas, dias, ou mesmo anos.

Mas não podemos atrasar o tempo. Ele simplesmente escoar naturalmente rumo ao infinito. Sem que, ainda, possamos fazer qualquer coisa a respeito.

Assim sendo, o termo **Atraso de Sinais**, empregado muitas vezes neste livro, parece estar rigorosamente correto. Mas o mesmo não pode ser dito do termo **Atraso de Tempo**, que também emprego neste trabalho. E faço isso para não descaracterizar alguns termos consagrados, como é o caso de **Espectrometria por Atraso de Tempo**.

Este apêndice está totalmente baseado num artigo que preparei em 1.989, e que foi

publicado na Revista Música & Tecnologia, em sua 18ª edição, de janeiro de 1.990. Com as atualizações que o período escoado exigiu.

As linhas que seguem têm tudo a ver com o adágio “o artífice só pode ser tão bom quanto as ferramentas que usa”.

Há muitos anos os analisadores TEF (Time x Energy x Frequency) já fazem parte do arsenal mirabolante de muitos engenheiros de áudio pelo mundo afora. Todos concordam que esta é uma das ferramentas mais poderosas à sua disposição, se não simplesmente a mais poderosa.

Seu desenvolvimento remonta à década de 60, quando Richard Heyser mergulhou fundo em seus estudos sobre Espectrometria por Atraso de Tempo, ou abreviadamente EAT, por sinal muito profícuos.

Tecnologia que foi posteriormente batizada Transformada Heyser.

Quem como eu teve o privilégio de conhecer e conversar pessoalmente com Richard, com toda a certeza sentiu, ainda durante a primeira troca de palavras, que estava diante de alguém muito especial.

Um indivíduo competente para emitir conceitos corretíssimos recheados com bases matemáticas tão profundas e complexas, a ponto tal de fazer corar PhD's. E alguém capaz de, no próximo minuto, se dirigir a estudantes inexperientes e fazê-los entender corretamente conceitos ainda mais intrincados.

Portanto, vou dedicar esse apêndice à memória desse ser humano extraordinário, falecido em 1.987.

A EAT tem sido empregada com grande eficiência em análises acústicas e correspondentes projetos.

No campo da medicina, a EAT há muito é empregada como forma de identificação de moléstias por análises ultrassônicas. Também se utiliza a EAT em medições ultrassônicas e levantamentos do fundo do mar.

Mas é na eletroacústica que a EAT passa a nos interessar. Onde possibilita a economia de muito tempo facilitando sobremaneira a execução de atividades distintas, como o projeto de difusores acústicos, a avaliação objetiva de microfones, de amplificadores, de processadores de sinal, e de outros aparelhos, de clusters, de projetos iniciais, de reprojetos, avaliações e ajustes de grandes sistemas de sonorização.

Ferramenta valiosa durante a elaboração de projetos de salas de controle de sistemas de áudio, de estúdios de gravação, de salas de gravação, de teatros, de casas de espetáculos, e acrescentando mais coerência, acuidade e velocidade em processos de equalização, de alinhamentos de clusters e de sistemas. E assim por diante.

Um dos principais desafios que Dick Heyser se colocou foi obter, em ambientes quaisquer, medições até então só possíveis em câmaras anecóicas.

D.2 O QUE É A EAT

Suponhamos que queiramos levantar a resposta de frequência de um alto-falante em campo acústico livre. Para tanto, em princípio seria necessário usar câmara anecóica, ou ao menos espaço aberto com excepcionais condições de amortecimento acústico.

Mas só dispomos de uma sala, que infelizmente é bastante reverberante.

Então vamos prosseguir com nossa sala mesmo, deixando o alto-falante em seu interior. A uma distância conhecida dele colocamos um microfone de prova, devidamente calibrado, na direção em que desejamos levantar a resposta de frequência.

Com a sala inicialmente em seu estado normal, energizamos o alto-falante com um sinal sinusoidal.

Consequentemente, uma frente de onda de pressão se propaga com velocidade constante a partir do falante. Evidentemente, essa frente de onda não viaja apenas na direção do microfone, mas em todas as direções, com mais ou menos energia em cada direção. Suponha também que o microfone esteja ligado a um sensor através de um filtro passa banda muito estreito, sincronizado com precisão para a frequência exata do sinal sinusoidal entregue ao falante.

No momento preciso em que a primeira crista da frente da onda atinge o microfone, podemos ter certeza de que a única contribuição é a diretamente proveniente do alto-falante, pois quaisquer outras, resultantes de reflexões nas superfícies da sala, percorrem caminhos mais longos do que o sinal direto, e chegam ao microfone **depois** daquela primeira crista.

Para que o sinal atinja seu valor de excitação, chamado “steady-state“, decorre um certo tempo a partir do momento que é o alto-falante é energizado. O mesmo ocorre com o microfone. E o circuito sintonizado também possui sua própria constante de tempo. Mas se nosso arranjo de medição é capaz de atingir seu valor “steady-state“ **antes** de que o primeiro som refletido chegue ao microfone, tal valor é, de fato, a medição da resposta em campo acústico livre correspondente à frequência entregue ao alto-falante.

Esse tipo de medição é bastante simples, e de fato já vinha sendo utilizada a partir da década de 60 por diversos pesquisadores.

Se o filtro sintonizado for fixo, a medição deve ser feita antes do microfone receber a primeira reflexão, ou sinal falso, e o sistema deverá ser desenergizado antes de fazermos a medição subsequente.

Mas o sinal sinusoidal de frequência fixa também pode ser aplicado ao alto-falante apenas durante o tempo suficiente para que façamos a leitura do valor “steady-state“.

E também podemos alterar a frequência entregue ao falante para outra, fora da banda do filtro, antes que o primeiro sinal falso atinja o microfone. Suponhamos também que, através de circuitos lógicos de comutação, possamos inserir depois do microfone outro filtro, sintonizado para a nova frequência entregue ao alto-falante, exatamente no momento em que a onda de som percebida pelo microfone muda a frequência.

Então, o circuito associado ao microfone estará sintonizado para a nova frequência, e as reflexões da primeira frequência serão ignoradas, já que serão rejeitadas pelo filtro, agora sintonizado para outra frequência.

Se continuarmos com este processo para todo espectro de frequência desejado, é óbvio que o circuito jamais “saberá” que as medições foram feitas em ambiente reverberante, e assim se pode levantar uma legítima resposta de frequência anecóica em ambientes reverberantes.

Entretanto, a inserção de filtros fixos e o tempo de espera para o amortecimento dos transientes de cada frequência impossibilitam, por diversas razões, inclusive a econômica, a prática desse processo.

Contudo, é perfeitamente possível usar um sinal cuja frequência vai aumentando ou diminuindo com o tempo, como uma varredura ao longo do espectro de áudio, e inserir um filtro de rastreo constante após o microfone. Se este filtro for sintonizado para a frequência do sinal como percebida pelo microfone, e a frequência do sinal se alterar dentro da banda passante do filtro antes da primeira reflexão atingir o microfone, não teremos transientes na medida, e ela será anecóica mesmo se tomada no mais reflexivo dos ambientes.

D.3 TEMPO E DISTÂNCIA Há uma relação linear e unívoca entre o tempo e a distância que a onda de pressão viaja do alto-falante ao microfone.

Cada superfície refletora se comporta como uma nova fonte de som, com atraso de tempo correspondente ao trajeto falante-superfície refletora-microfone.

Se especificarmos que a combinação da varredura com o rastreo do filtro deve ser capaz de maximizar a resposta para todas as frequências provenientes de quaisquer fontes aparentes de som, teremos chegado a um equívoco de frequência, espaçamento e tempo.

A varredura que satisfaz a esta condição possui uma variação constante de frequência x tempo.

Mas se toda a energia reverberante resultante de qualquer frequência for amortecida para um patamar aceitável após um certo tempo fixo a partir do momento da excitação, digamos t milissegundos, então a varredura pode ser feita tal que vai repetir sua característica linear como se fosse uma onda dente de serra, com período não inferior a t milissegundos.

Vamos tentar visualizar este processo com o auxílio da figura D.1.

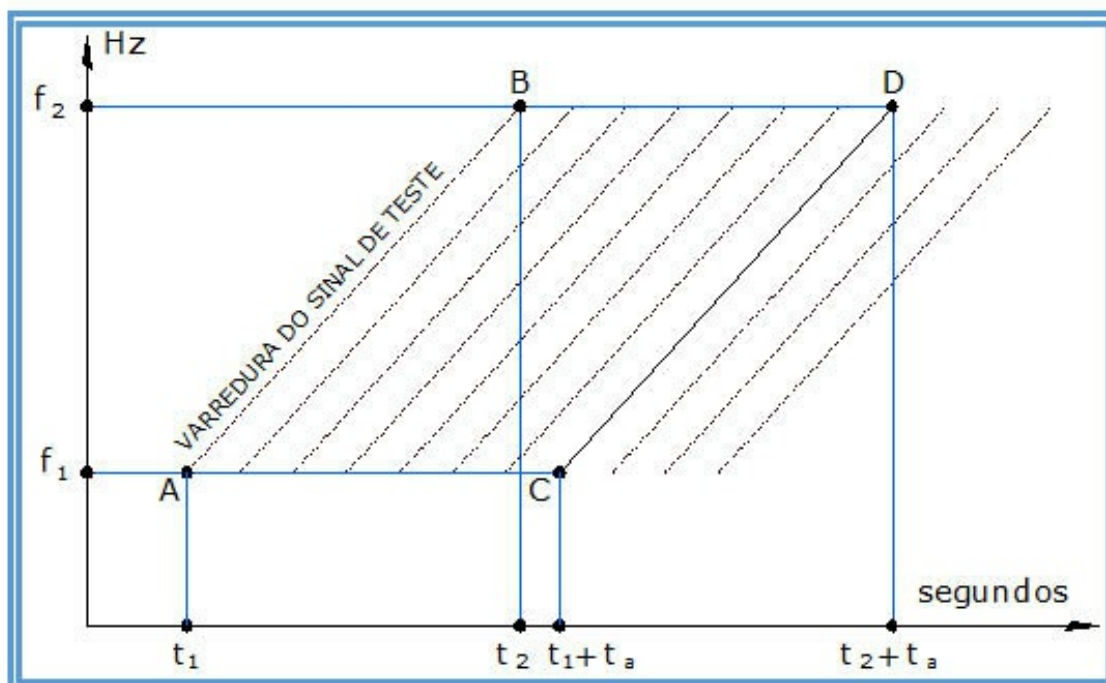


figura D.1 sinais de varredura em tempos sucessivos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O ponto A corresponde a f_1 , t_1 caracteriza o momento exato (t_1) de início da varredura, que então está com frequência f_1 .

Este sinal de teste prossegue sua varredura até atingir a frequência f_2 , no momento t_2 . Quando então estamos no ponto B.

Logo, a linha AB representa o sinal sinusoidal de teste de frequência variável com o tempo.

O microfone calibrado e o filtro de rastreo constante estão a uma distância tal do falante correspondente a um atraso de tempo , ou seja

$$t_a = \frac{\text{distância}}{\text{velocidade do som na sala}}$$

Então, a frequência será percebida pelo conjunto microfone/filtro no momento , ao que corresponde o ponto C da figura.

Da mesma forma, a frequência será percebida pelo conjunto microfone/filtro no momento , ou seja, no ponto D de nosso gráfico.

Óbvio que qualquer frequência entre e será percebida pelo conjunto no momento que lhe corresponde entre e , mais .

Desse modo, nosso microfone efetivamente ignora quaisquer sinais falsos que lhe atinjam, resultantes de reflexões, pois só levará em conta os sinais com atraso , isto é, a linha CD.

Nesse caso, o microfone estará lendo apenas os sinais diretos, e não os reverberantes. Mas também se pode pensar em ajustar o atraso para que o microfone leia o conjunto de sinais diretos mais refletidos.

As linhas tracejadas da figura D.1, paralelas a AB e CD, representam as respostas do sistema sob teste, ao estímulo AB.

O sinal percebido pelo microfone é sempre o mesmo que o alto-falante emitiu um certo momento antes da percepção. Se chamarmos de o sinal transmitido pelo alto-falante, e de o sinal percebido pelo microfone, torna-se claro que a relação entre a distância (X), a frequência transmitida e recebida em qualquer instante, e a taxa de variação de frequência é:

$$X = \frac{(F_t - F_r) \cdot V_s \cdot \Delta t}{\Delta \text{ frequência}} \quad (\text{D.1})$$

onde V_s é velocidade do som e Δt é exatamente isso o que dá consistência teórica ao processo. Já que podemos afirmar que, para sintonizar uma frequência qualquer de um sinal de teste a X metros do microfone, é apenas preciso que ajustemos a taxa de variação de frequência de varredura e o rastreo do filtro para uma diferença fixa.

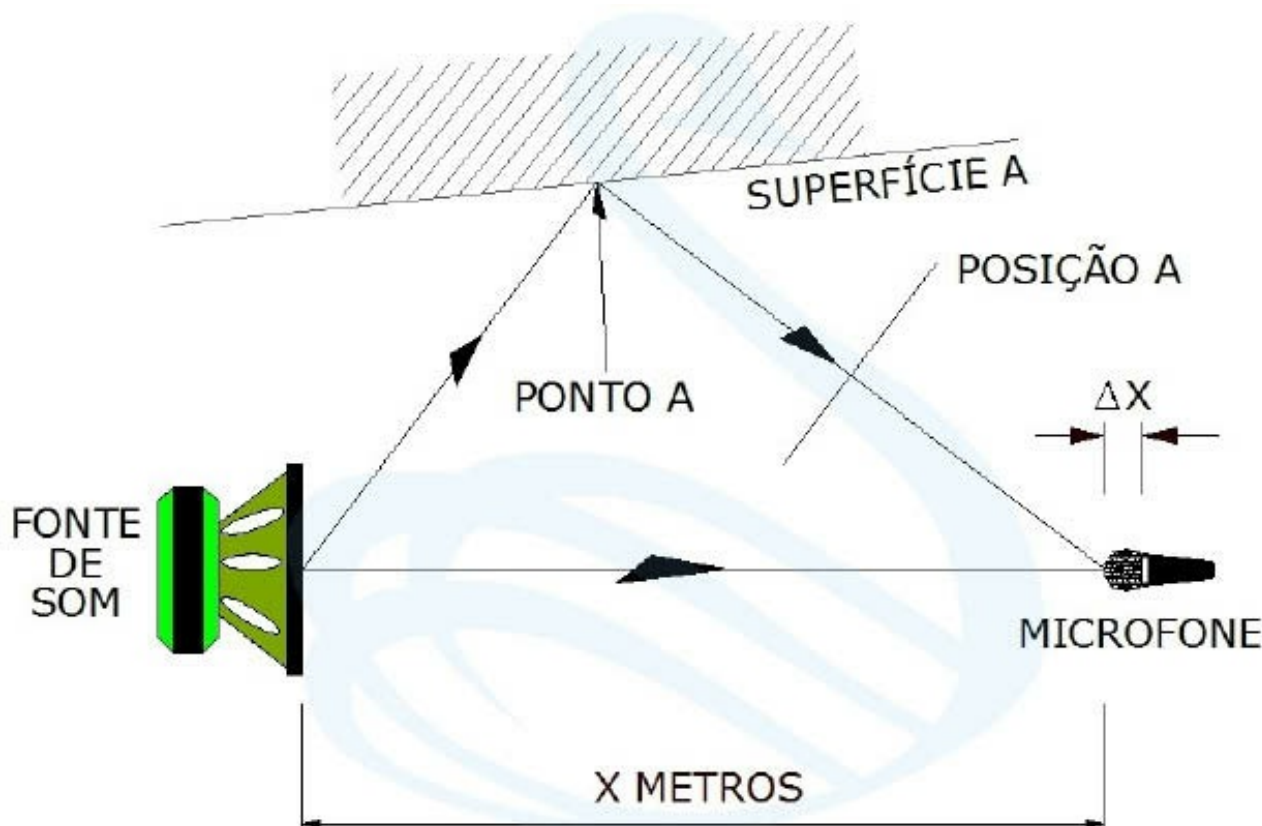


figura D.2 situação prática de falante, microfone e superfície refletora acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Se tomarmos como exemplo uma situação prática qualquer, como a da figura D.2, podemos derivar algumas relações simples. A distância entre o alto-falante e o microfone é X metros. A banda passante do filtro é B Hz. O sinal que deixa o alto-falante viaja uma distância DX no espaço com frequência contida dentro da banda passante B.

Pode-se definir DX como a região do espaço, na direção desejada de propagação do sinal, dentro da qual a potência do sinal acústico não é inferior à metade de um valor máximo arbitrado. Essa definição é análoga à definição de banda passante de meia potência B do filtro, e por isso mesmo é chamada de equivalente espacial da banda passante.

A relação entre o equivalente espacial da banda passante, a banda passante B elétrica do filtro de rastreo constante, a velocidade do som e a taxa de variação de frequência D frequência/Dt é:

$$\Delta X = \frac{B \cdot V_s \cdot \Delta \text{frequência}}{\Delta t} \quad (\text{D.2})$$

A Figura D.2 também nos mostra que podemos estudar isoladamente a resposta da superfície refletora A.

Uma das formas de se fazer isso é ajustando a fonte para que o microfone receba frequências que formem os sons diretos, como mostra a figura e, em seguida, sem alterar o ajuste da taxa de variação de frequência, transportar fisicamente o microfone para posição A. Assume-se que é preciso encontrar uma posição na qual o contorno de sons não desejados, refletidos ou diretos, não entre na sintonia espacial da posição A.

Outra das formas é ajustar o sistema para a posição A e manter sem alterações a posição do microfone, ajustando as frequências transmitidas e recebidas para o maior trajeto de A.

As duas técnicas possibilitam a análise eficiente das superfícies refletoras da sala. Naturalmente que a sala é cheia de energia, mas desde que tenhamos em mãos um instrumento capaz de relacionar exclusivamente **TEMPO, ESPAÇO e FREQUÊNCIA**, podemos dizer que o contorno espacial dos sons refletidos pode ser totalmente congelado.

Assim, independentemente das características acústicas do ambiente, podemos fazer experiências nele, apenas ajustando frequências, e obtendo sempre os mesmos resultados.

Isto é, não importa se o ambiente é mais ou menos absorvente ou reflexivo, como também não importa seu nível de ruído ambiente.

Podemos afirmar analiticamente que desse modo obtemos uma conversação de coordenadas capaz de substituir ajustes espaciais por ajustes de frequências garantindo que, simultaneamente, são mantidas intactas todas as propriedades acústicas, inclusive aquelas que são função da frequência do sistema. Aí está o grande poder desta técnica.

De fato, enquanto as propriedades acústicas continuam substancialmente lineares, os sinais de combinação de coordenadas espaciais normais, de difícil tratativa, são transformados em coordenadas de frequência, de análise geralmente muito mais fácil.

D.4 OS ANALISADORES TEF

Por ocasião do início das pesquisas com a EAT, diversos especialistas imaginavam que seria extremamente caro construir um instrumento baseado em EAT. Contudo, o futuro veio mostrar que a coisa era mais simples do que se pensava.

Os filtros rastreáveis já eram parte dos analisadores espectrográficos de tempo real (RTA). Na ocasião, esse instrumento era basicamente um receptor super-heteródino sintonizado para o espectro de áudio, governado por um oscilador local de varredura linear com o tempo. Exatamente o que se desejava.

Dependendo da resolução pretendida, era até possível utilizar RTA's comerciais, que já apresentavam varredura tipo dente de serra. A saída do filtro de rastreo poderia ser retificada e aplicada ao amplificador vertical de um osciloscópio, cujo amplificador horizontal seria alimentado para que a função resultasse linear.

Dada a natureza repetitiva do displêi do osciloscópio, ele mostraria a representação da energia dos sinais x frequência.

O sinal de teste a ser estrague ao falante poderia ser obtido convertendo-se as frequências do oscilador local do RTA para a banda de áudio.

Por processo heteródino, envolvendo o oscilador local e outro oscilador, com mesma frequência que a FI (Frequência Intermediária) do analisador, a frequência diferença seria precisamente aquela para qual o RTA estaria sintonizado.

O “offset“ de frequência necessário para a sintonia espacial dos sinais acústicos poderia ser adequadamente obtido tirando-se o oscilador fixo de sintonia em relação à FI.

Alguns RTA incorporavam um gerador de varredura síncrono, tipo “down converter “.

Para fazer as medições com base em EAT, bastaria substituir o oscilador fixo a cristal por um oscilador sintonizável, suficientemente estável.

O restante era trivial. Microfone, pré-amplificador e amplificador de potência. O arranjo da figura D.3 mostra o diagrama de blocos de um arranjo prático para se fazer medições por EAT.

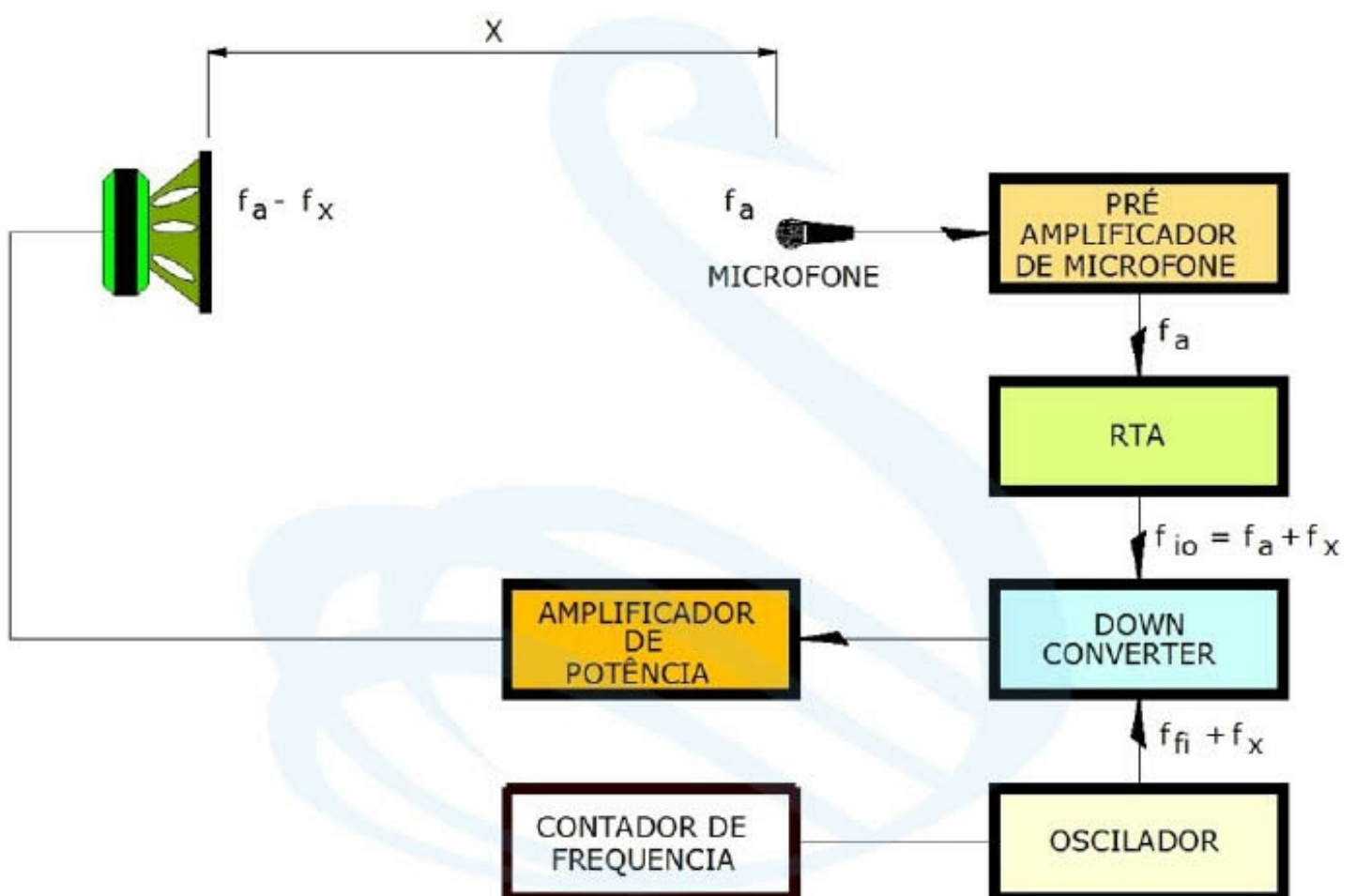


figura D.3 diagrama de blocos simplificado para fazer medições por EAT
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne De fato, esta foi uma das primeiras versões utilizadas que, se por um lado custava pouco mais do que um RTA comercial, ficava com preço muito inferior ao de apenas uma só câmara anecóica medíocre. A figura D.4 exibe o arranjo da figura D.3, já com alguns melhoramentos.

Os quais estavam totalmente baseados nos estudos de Dick.

Sua relação custo/benefício havia aumentado. Este novo arranjo, suportado por técnica heteródina, já podia medir amplitudes e fases.

Na evolução natural do processo de aperfeiçoamento dos analisadores TEF, inúmeras dificuldades tiveram que ser contornadas.

E uma das mais importantes é que a linha de atraso deveria poder ser ajustada de zero a muitos segundos, de preferência em intervalos de poucos microssegundos. Isso implicava em armazenar dados. Evidentemente, não da forma eletromecânica. Ao mesmo tempo, os instrumentos RTA que operavam com varredura e ofereciam alguns problemas de processamento em tempo real e efetivo, passaram a operar com filtros paralelos.

Mas seria muito melhor se esses aparelhos também pudessem tirar partido dos algoritmos FFT, meio muito eficiente para avaliar digitalmente as transformadas de Fourier. O inconveniente é que isso ainda era algo muito caro.

No processo de desenvolvimento foram introduzidos alguns arranjos que correspondiam a melhoras em relação ao da figura D.4. Até que se chegou ao arranjo da figura D.5.

Este já é um instrumento totalmente baseado em EAT. Mas agora, de concepção híbrida. Nota-se a utilização de um RTA modificado, combinado com um analisador FFT. O desenvolvimento da tecnologia dos semicondutores, notadamente nos campos da LSI (Large Scale Integration) e VLSI (Very Large Scale Integration), facilitariam bastante trabalhar com “hardware” e “software” relacionados com FFT, graças à redução progressiva e substancial dos preços.

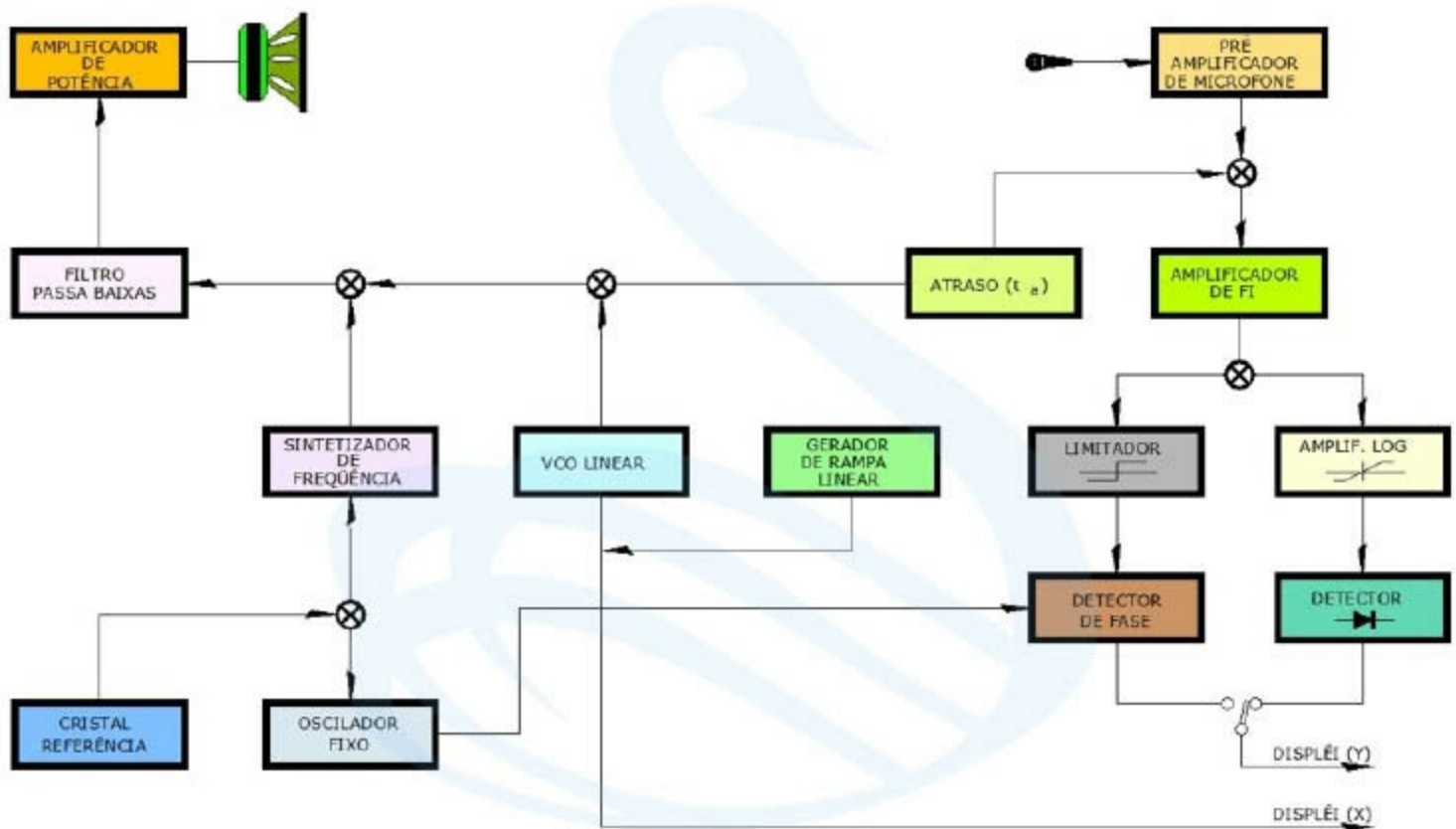


figura D.4 diagrama de blocos de arranjo melhorado para fazer medições por EAT
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

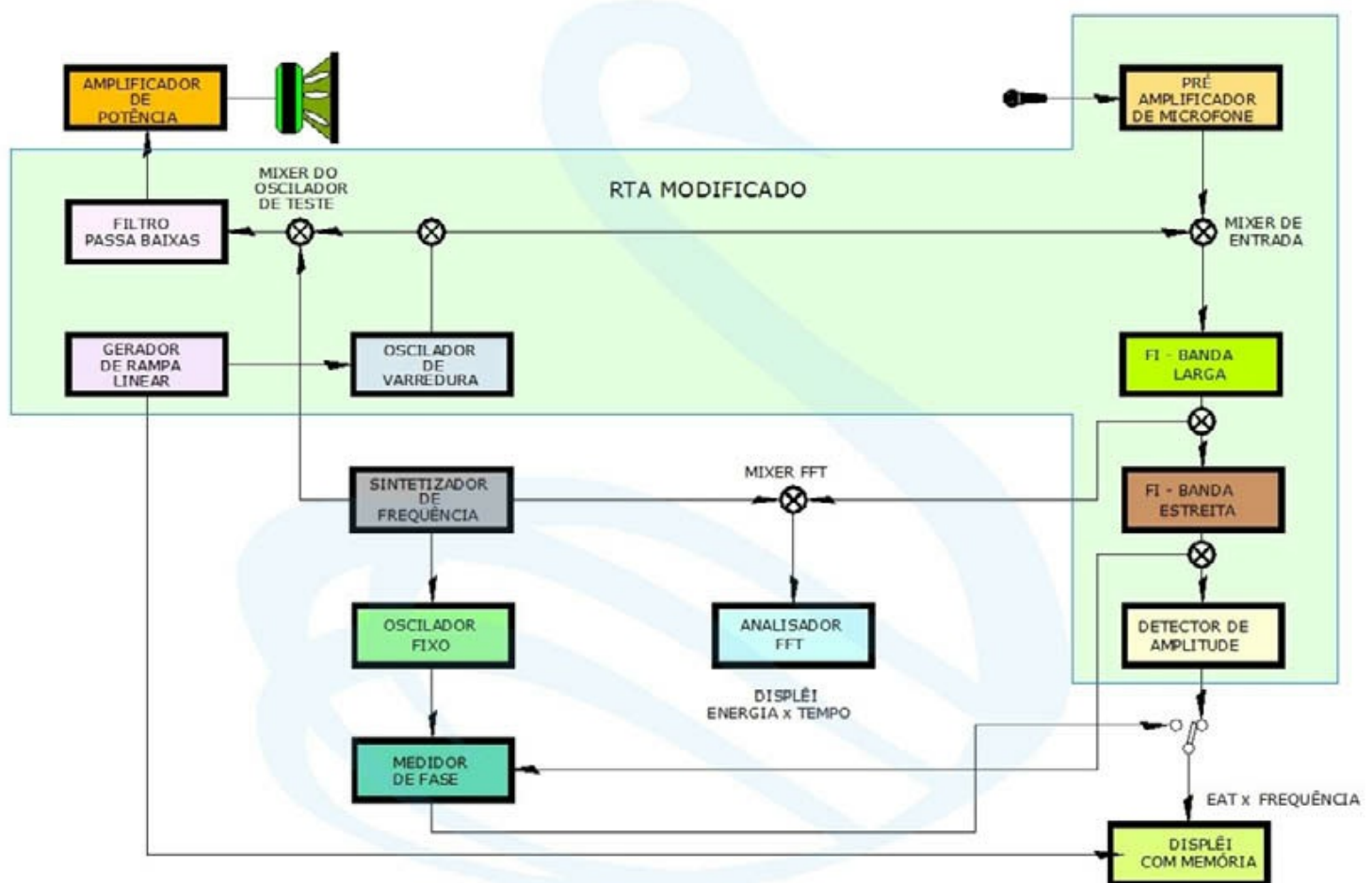


figura D.5 diagrama de blocos de arranjo baseado em EAT, de concepção híbrida acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Alguns pesquisadores americanos, entusiasmados com o trabalho de Dick Heyser, e alguns de seus seguidores, resolveram então desenvolver o instrumento TEF baseado em computador.

Antes de partir para seu desenvolvimento, foi dada a devida atenção para inúmeros

detalhes, como a portabilidade do instrumento, seu preço final, sua capacidade de suportar inúmeras computações, como as resultantes das transformadas Hilbert e Fourier, além de outros.

De início, tornou-se óbvio que era preciso utilizar um computador “general purpose” com elevada capacidade de armazenamento de dados.

Para maior flexibilidade operacional a idéia era usar apenas “hard” e “soft”, além de “floppies”.

Mas na ocasião, a densidade dos floppies domésticos não era suficiente. E algumas medições implicariam em dados com tamanho de cerca de 64 k (65.536) bytes, de uma só vez.

Foram escolhidos, então, minifloppies com capacidade para 1 megabyte cada um.

Para produzir as curvas ETC, discutidas a seguir, era preciso trabalhar com 1.024 pontos e computação FFT de 16 bits.

Para garantir boa aceitação dos usuários, qualquer cálculo deveria ser processado e apresentado num tempo não superior a 2 segundos.

Vários estudos mostraram que, usando-se um processador LSI em conjunto com um microprocessador Z-80-A de 4 MHz, da Zilog, era possível fazer computações FFT em cerca de apenas 0,6 segundos.

D.5 TECHRON 12

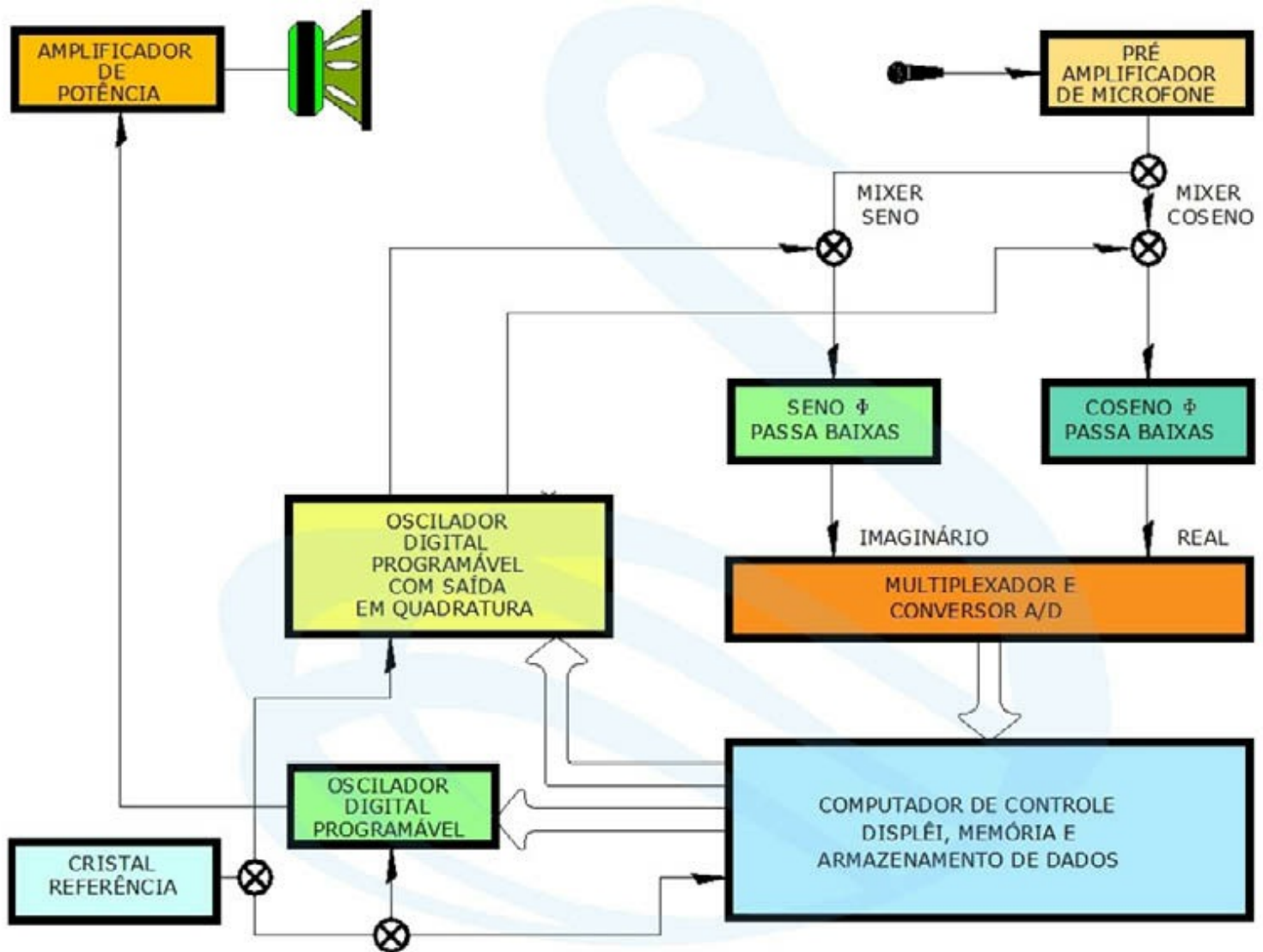


figura D.6 diagrama de blocos simplificado do Tecron 12 da Crown acervo do engº Luiz Fernando O.

Cysne A figura D.6 mostra o diagrama de blocos simplificado do primeiro instrumento Tecron fabricado pela Crown, o Tecron 12, com o subsídio dos pesquisadores antes referidos, e de outros.

O instrumento não utilizava apenas um, mas três microprocessadores Z-80-A.

A idéia de utilizar osciladores digitais tinha por objetivo a criação de formas de onda extremamente precisas, já que seriam obtidas por computação de fase digital instantânea.

Há muitos modos de converter valores digitais de fases em senóides. O primeiro instrumento TEF empregava o método ilustrado na figura D.7. Os dados das 70.175 amostras por segundo da fase instantânea são convertidos numa forma de onda triangular quantizada no tempo. E esta é propositadamente distorcida por uma rede não linear, para ser transformada numa forma de onda sinusoidal, também quantizada no tempo.

No estágio final a forma de onda ainda é processada por um filtro, de sorte a resultar numa onda sinusoidal muito pura.

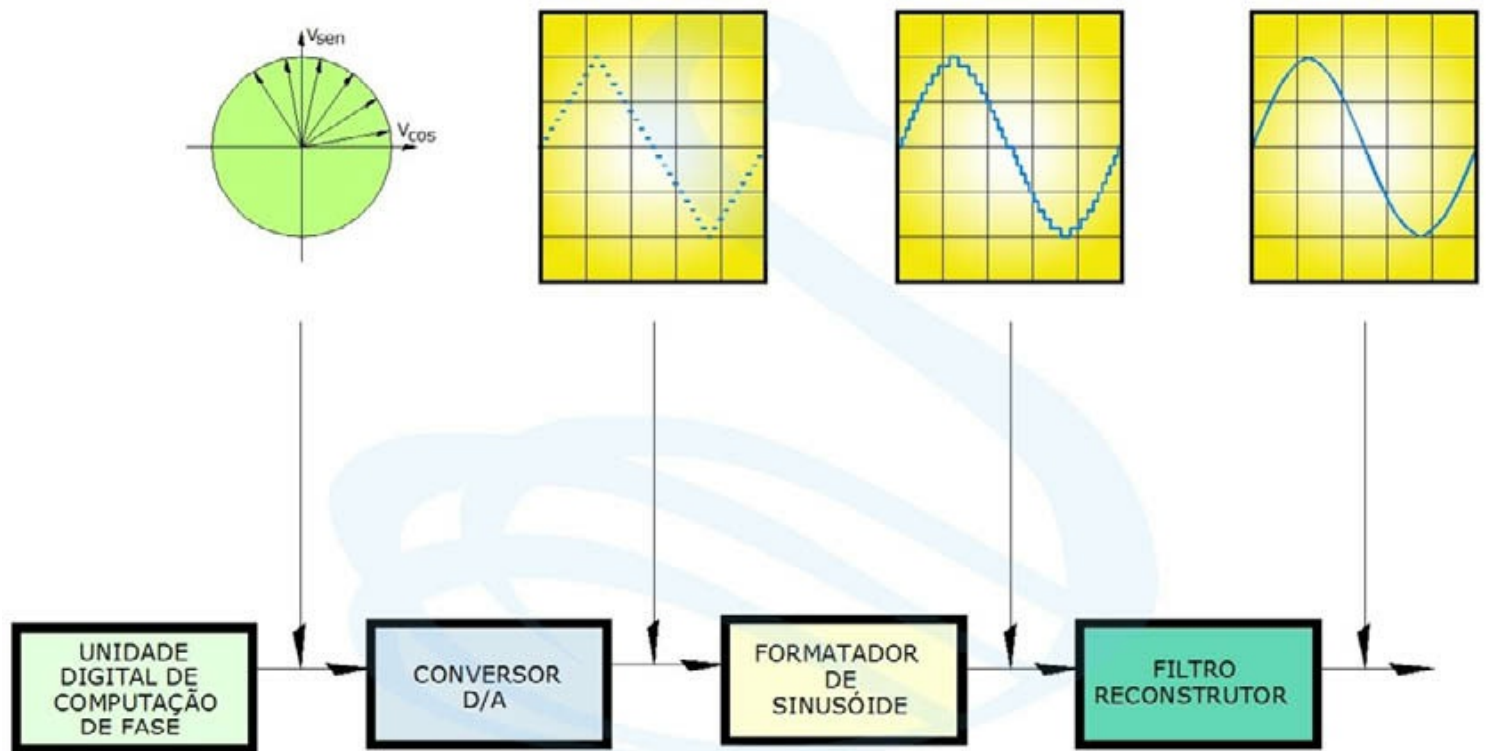


figura D.7 forma de conversão de valores digitais de fases em senóides acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Osciladores digitais podem ser facilmente sincronizados por um relógio comum de cristal.

O computador de controle possuía dois microprocessadores e programas para processamento dos cálculos de fase, o que era feito com 16 bits.

A técnica permitia criar varreduras lineares e mais uma ampla gama de formas de ondas.

Nos analisadores convencionais, a FI nunca era inferior a 100 kHz, ao que vale dizer que os osciladores também trabalhavam só até esse limite. O que é superado quando a produção dos sinais é obtida por meios digitais, e os filtros de FI podem ser do tipo passa baixas.

Com essa mecânica também foi possível reduzir a frequência do oscilador até os limites da taxa de Nyquist.

Essa dupla combinação possibilitou a obtenção de filtros muito estreitos, com bandas passantes Gaussianas, sem necessidade de emprego simultâneo de técnicas de conversão múltiplas, ou de filtros passa bandas a cristal compensados em temperatura, de controle invariavelmente muito difícil.

A banda passante mínima do Tecron 12 era 56 MHz e a banda passante Gaussiana podia ser ajustada para um máximo de 35 kHz, com 512 posições fixas de ajuste.

Tudo isso oferecia alta resolução com o tempo. Com o mesmo objetivo, os “mixers” empregados nas gerações dos sinais deveriam ter excepcional acuidade e estabilidade de multiplicação. Por isso, eram do tipo monolítico a laser.

A produção digital dos sinais obrigava que o oscilador tivesse saída em quadratura. Ou seja, duas saídas de sinal, com defasagem mútua de 90 graus. O que seria facilmente conseguido no domínio digital, tendo como resultado uma quadratura perfeita ao longo de toda a banda passante do oscilador, inclusive CC. É o que procura mostrar a figura D.8.



figura D.8 quadratura perfeita ao longo de toda a banda passante do oscilador acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O atraso de tempo era ajustável entre 0 e 240 segundos, em passos de 1 microssegundo.

Mas como se observa na figura D.6, não havia qualquer bloco de atraso. A explicação é que agora o atraso não era mais uma função de hardware, mais sim de software. As correspondentes rotinas estavam contidas nos dois osciladores, o de teste, e o do analisador.

E assim era até possível programar atrasos de tempo para valores negativos.

Os osciladores também podiam ser programados com diferentes taxas de varredura, recurso muito útil, imaginado para permitir, por exemplo, a análise de harmônicas do sinal do teste.

A organização original de um analisador TEF não guardava qualquer semelhança com a arquitetura típica de um instrumento convencional. Para começar, todas as comutações eletrônicas e ajustes internos eram controlados por computadores.

Os controles do usuário podiam ser exercidos por um conjunto de teclados padrão QWERTY, como os de um teclado convencional de computador. Ao qual foram adicionadas 11 teclas de funções especiais e mais um conjunto de teclas numéricas.

Um dos objetivos de desenvolvimento era não limitar o aparato de programação. Por exemplo, como por utilização de linguagens avançadas de máquina, emprego de editores, “assemblers”, carregadores especiais e assim por diante.

Por isso mesmo, o sistema de operação escolhido foi o CP/M (marca registrada da Digital Research Incorporated), que já facultava o uso de uma variedade de programas comuns, inclusive processadores de texto, além de diversas linguagens.

A técnica de comunicação usuário/máquina que caracterizava o software do analisador TEF era muito objetiva, e desenvolvida por meio de menus. Dessa forma, durante um modo qualquer de operação, todos os controles efetivamente não relevantes para aquele modo não apareciam, o que facilitava muito a manipulação do instrumento.

O manual do usuário estava permanente e imediatamente disponível, pois era arquivado “on line”, em forma de um conjunto de textos ASC-II.

Cada menu tinha seu próprio arquivo para maior assistência ao usuário. Os arquivos podiam ser lidos e editados, e o usuário ainda podia acrescentar seus próprios comentários e observações a qualquer deles.

Graças às comutações e ajustes controlados por computador, quaisquer informações, cálculos e medições feitas pelo analisador TEF eram precisa e automaticamente documentadas.

Do mesmo modo, dados, posições de ajustes, situações de controle, modo de operação e tudo o que correspondia a cada medição podia ser preservado em disco. Assim, todas as condicionantes de uma medição específica podiam ser carregadas dos floppies antes que medições semelhantes fossem feitas.

Essa facilidade era um colírio mental para o usuário não muito familiarizado com o instrumento.

Qualquer usuário podia acrescentar textos com observações e anotações às suas medidas através de um editor de caracteres específico, incluído no instrumento para esse fim. O displêi para os caracteres era obtido com 32 linhas de 64 caracteres cada, em associação com memória de vídeo de 32 Kbytes além dos 64 K bytes de memória RAM.



figura D.9 aspecto do analisador pioneiro TEF 10 Tecron, da Crown Cortesia Crown Para quem quisesse efetuar cálculos, um programa de cálculos RPN (Reverse Polish Notation) podia ser trazido à tela, que era um tubo de raios catódicos verde de 7 polegadas, de altíssima resolução par a época.

A resolução de dados gráficos era de 256 x 512 pixels (elementos de imagem).

Os dados contidos na tela e preservados pelo instrumento também podiam ser encaminhados para uma impressora e obtidos em papel.

D.6 UTILIZANDO O ANALISADOR TEF

Os sinais de áudio são completamente definidos por suas partes real e imaginária. Exatamente como uma simples medição de impedância, onde a resistência CA (R) é a parte real e a reatância (X) a parte imaginária. Neste caso, a magnitude da impedância é

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (D.3)$$

e o ângulo de fase associado a Z é

$$\theta \text{ graus}(Z) = \text{tg}^{-1} \frac{X}{R} \quad (D.4)$$

Do mesmo modo, a magnitude do sinal de áudio é

$$M = \sqrt{(\text{REAL})^2 + (\text{IMAGINÁRIO})^2} \quad (D.5)$$

e o ângulo de fase que lhe corresponde é

$$\theta \text{ graus}(M) = \text{tg}^{-1} \frac{\text{IMAGINÁRIO}}{\text{REAL}} \quad (D.6)$$

Tanto as partes reais quanto as imaginárias podem ser obtidas no domínio do tempo (FFT) ou da frequência (TEF).

Os analisadores TEF geram sinais de teste que são interpretados como energia cinética no eixo imaginário, e como energia potencial no eixo real. Com sinal em quadratura é possível alocar em bancos de memórias as partes reais e imaginárias, como interpretadas.

Essa característica do instrumento facultava ao usuário programar quaisquer modos de apresentação dos dados na tela. Ele podia inclusive programar modos que mostrassem as fronteiras entre os domínios mencionados. Como na figura D.10.



TEF MEDIÇÃO TEMPO x ENERGIA x FREQUÊNCIA
 FTC CURVA FREQUÊNCIA x TEMPO
 EFC CURVA ENERGIA x FREQUÊNCIA
 ETC CURVA ENERGIA x TEMPO

figura D.10 modos de apresentação dos dados nos analisadores TEF
cortesia Cysne Science Publishing Co.

D.6.1 3D

Este modo permite que sejam feitas apresentações com inclinações nos sentidos da frequência e do tempo. Como ilustra a figura D.11.

É o modo ideal para a verificação de comportamento de transientes e análise de respostas “steady state” e transientes, que podem ser apresentadas simultaneamente.

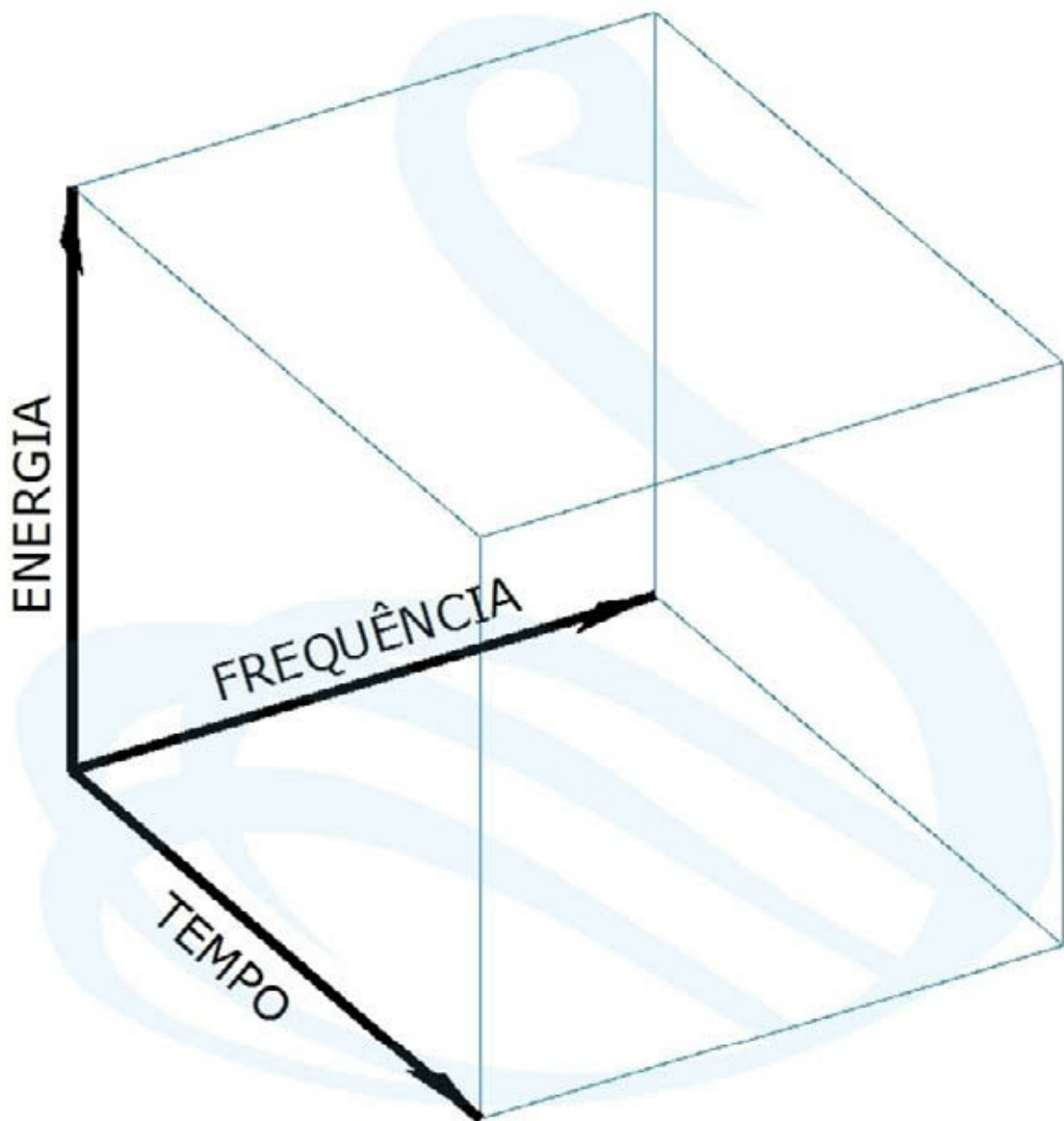


figura D.11 apresentação de dados em 3D
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne D.6.2 FTC

Curva retirada do processamento TEF 3D.

D.6.3 EFC

Mostra a magnitude da frequência, portanto, no domínio das frequências.

Essas curvas permitem que se faça a equalização apenas do campo direto, sem o conteúdo reverberante.

Mas também é possível analisar o campo direto mais o reverberante. Outro recurso é a integração da EFC detalhada para qualquer resolução de frequência, ou de sua apresentação em intervalos de 1/1, 1/2 e 1/3 de oitava.

D.6.4 ETC

Curva apresentada no domínio do tempo, de grande eficácia por permitir a verificação do alinhamento de sinais, e das reflexões primárias (campo reverberante próximo), bem como de

distorções espúrias.

D.6.5 NPP (Nyquist Phase Plot) Gráfico que mostra as partes real e imaginária de um sinal, obtidas por um vetor rotacional, cujo comprimento é a magnitude, porquanto o ângulo corresponde à frequência instantânea.

O eixo vertical é o imaginário, e o horizontal, o real.

As energias cinética e potencial podem ser pesquisadas frequência por frequência.

D.6.6 PFC (Phase x Frequency Curve) Informa a polaridade acústica e o ângulo de fase relativo x frequência. Através destas curvas se determina com precisão os atrasos dos sinais acústico, e se localiza com muita acuidade o centro acústico de transdutores.

D.6.7 Fase Absoluta (F)

$$\Phi = \frac{d}{P.V_s} \quad (D.7)$$

onde

- é a fase absoluta
- d é a distância acústica
- P é o período, ou seja, o inverso da frequência ($P = 1/f$), e
- é a velocidade do som

D.6.8 Fase Relativa (q)

$$\theta = K \cdot \Phi \quad (D.8)$$

onde

• é a fase relativa, • K é a porção fracionária de um número, e • é a fase absoluta A fase relativa domina a maioria das medições de fase relacionadas com sistemas de som.

D.6.9 Ângulos de Fase (Fase e ϕ) Em eletrônica é usado principalmente o ângulo de fase relativa (Fase), geralmente abreviado para ângulo de fase, ou simplesmente fase.

Em medições acústicas, a medição do ângulo de fase absoluta (ϕ) é utilizada na determinação do centro acústico de transdutores.

D.6.10 Polaridade

Este tipo de medição é especialmente importante quando aplicável a transdutores.

D.6.11 Atraso de Fase O atraso de fase é apenas a consequência da utilização de equipamentos que não são absolutamente perfeitos. Ele é expresso por

$$\theta_A = \theta_{\text{RAD}} \frac{1}{2\pi F} \quad (\text{D.9})$$

onde

- τ é o atraso de fase em segundos
 - ϕ é o ângulo de fase relativa em radianos, e
 - f é a frequência em Hertz
- D.6.12 Atraso de Sinal Além do atraso de fase, há sempre um atraso de sinal.

D.6.13 Bode Plot Nome dado ao diagrama que mostra ganho, com o eixo vertical graduado em dB e o horizontal graduado em log de frequência, e que mostra simultaneamente ângulo de fase relativa, com o eixo vertical graduado em graus (ou radianos) e o horizontal com a mesma graduação log de frequência.

D.6.14 Nichols Plot Resulta da combinação das curvas Bode Plot, sendo o eixo das ordenadas a magnitude em dB, e o eixo das abcissas o ângulo de fase em graus.

D.7 OUTRAS MEDIÇÕES

Bem, tudo isso posto, podemos alinhar as principais medições que já podiam ser feitas com muita facilidade e incrível acuidade no campo da eletroacústica com os primeiros analisadores TEF que foram produzidos. Convém lembrar que, embora sendo comercializados normalmente no mercado, esses produtos eram praticamente experimentais. As medições eram:

- medições de fase de todos os tipos, inclusive de atraso de grupos Nyquist e fase x frequência
- medições de impedância de todos os tipos
- medições empregando-se o analisador TEF como se fosse um osciloscópio digital
- medições FFT de todos os tipos, até a casa de MHz
- condições de diretividade, com displêi de coordenadas polares, 3-D x frequência
- medições de resposta de amplitude com displêi tridimensional
- medições de impulso e de “doublets”

- medições de curva de energia x tempo
- medições de reverberação por integração Schroeder
- medições de frequência x tempo
- medições de distorção harmônica, inclusive de magnitude e fase
- medições de relação L_D (campo direto) para L_R (campo reverberante), e de L_D e L_{RE} (campo reverberante próximo) para L_R

- possibilidade total de medições de vibrações
- medições de curva energia x frequência de todos os tipos
- medições de reverberação ETC (curva energia x tempo) normalizada ou integrada
- medições diretas de Al_{CONS} %, RASTI, D/R, $L_D - L_R$

- análises estatísticas de amplitude x energia positiva ou negativa
- Vamos tentar avaliar o poder desse instrumento observando algumas de suas medições, que é o que mostram as figuras D.12.1 a D.12.40.

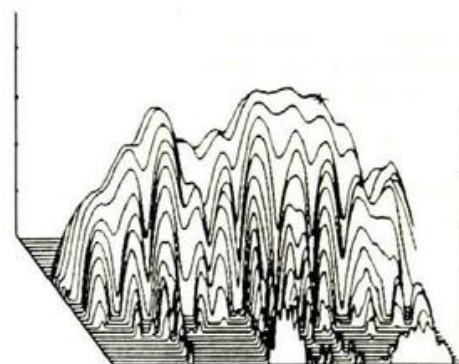
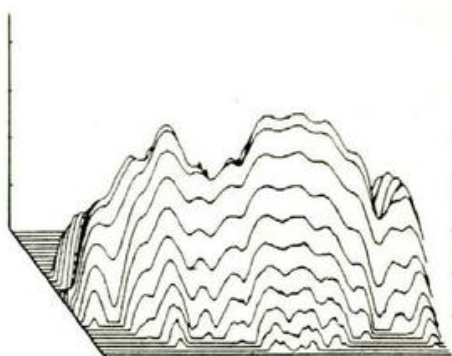
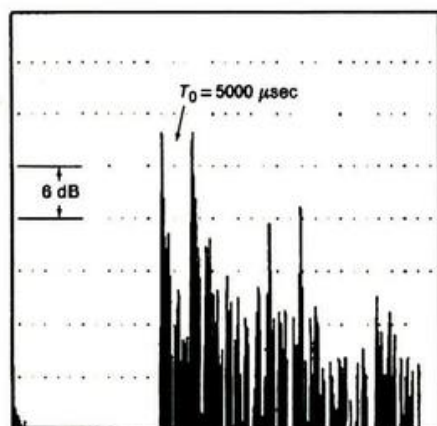
A figura D.12. 1 é uma típica curva de energia x tempo. Foi levantada a partir de um só canal de um sistema estereofônico de áudio.

O eixo vertical representa energia, com a escala graduada em dB, e o eixo horizontal

representa tempo.

O ponto mais elevado de energia é o sinal direto, e à direita dele as medições individuais dos sinais refletidos, com os picos dominantes provenientes de reflexões no piso. O pequeno sinal à esquerda do sinal direto, cerca de 30 dB inferior a ele, e que não deixou de ser medido, deve-se a um sinal de teste que, não intencionalmente, foi entregue ao canal do sistema que não estava sendo testado, mas cujo falante estava cerca de 30 centímetros mais próximo do microfone do que o falante em teste.

A possibilidade de visualização deste sinal deve-se à grande gama dinâmica do instrumento (20.000/1), bem como à sua alta resolução.



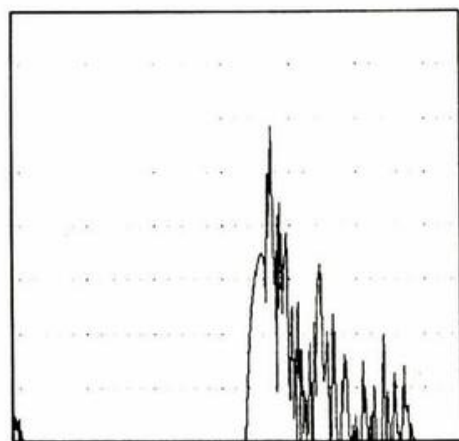
figuras D.12.1, D.12.2 e D.12.3

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura D.12.2 mostra a curva TEF (Tempo x Energia x Frequência) correspondente à mesma situação da figura D.12.1. O eixo horizontal corresponde à frequência, o eixo de profundidade corresponde ao tempo, e o eixo vertical corresponde à energia.

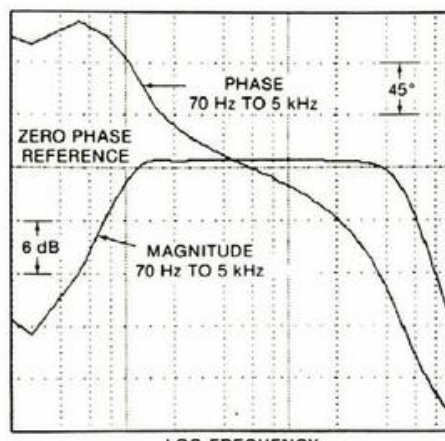
A figura D.12.3 mostra a mesma curva TEF, porém, agora com o eixo de tempo invertido.

Notam-se duas coisas. Inicialmente, fica evidente o efeito filtragem “comb” quando sinais reverberantes se combinam em tempo coincidentes. Além disso, nota-se o sinal pré-direto (do canal que não estava sendo medido), com suas ondulações na frente do sinal direto.

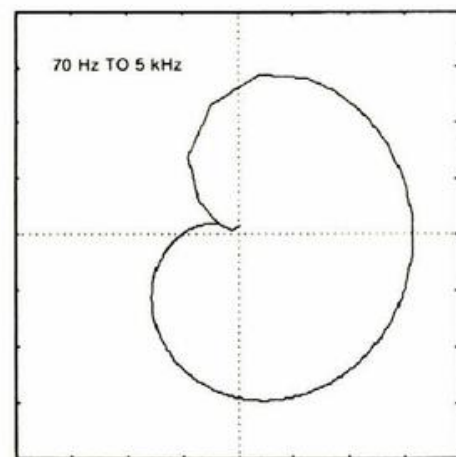
Essas duas últimas curvas foram levantadas com 32 varreduras. Entretanto, é possível mostrar qualquer varredura, individualmente, inclusive com mais detalhes.



Vertical: 6 dB/division
Horizontal: 0-6278 μ sec



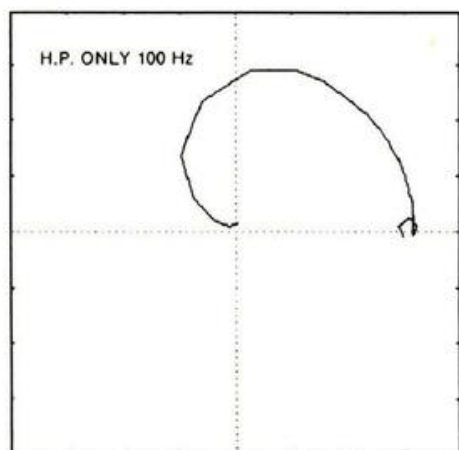
Vertical: 6 dB/division
Horizontal: Auto 0.00-10,001.20 Hz
Log frequency axis: 2.7 decades
Resolution: 7.0778E+01 Hz



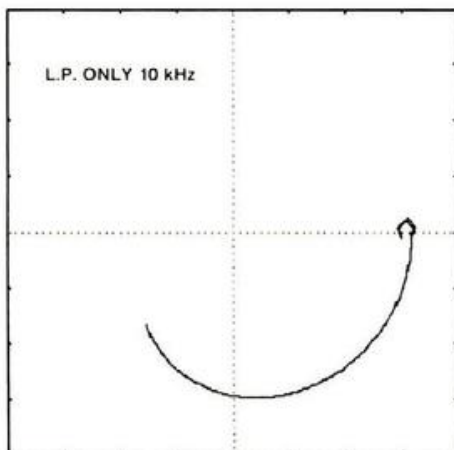
Resolution: 7.0778E+01 Hz
Frequency range: Auto 0.00-10,001.20 Hz

figuras D.12.4, D.12.5 e D.12.6

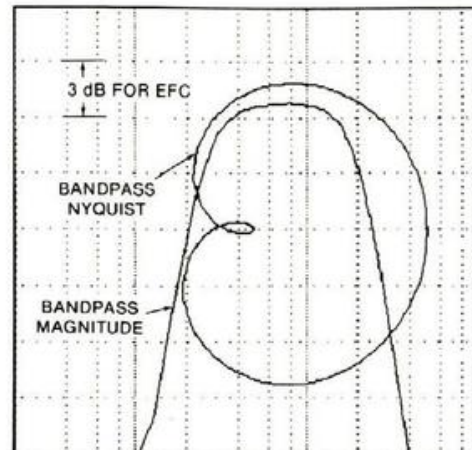
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura D.12.4 é a representação da curva energia x tempo, correspondente a uma única varredura. A figura D.12.5 mostra a magnitude e a fase de um filtro passa bandas, e a figura D.12.6 é o NPP desse mesmo filtro. Nas figuras D.12.7 e D.12.8 estão os NPP de um filtro passa altas e de um passa baixas, respectivamente.



Resolution: 7.0778E+01 Hz
Frequency range: Auto 0.00-10,001.20 Hz

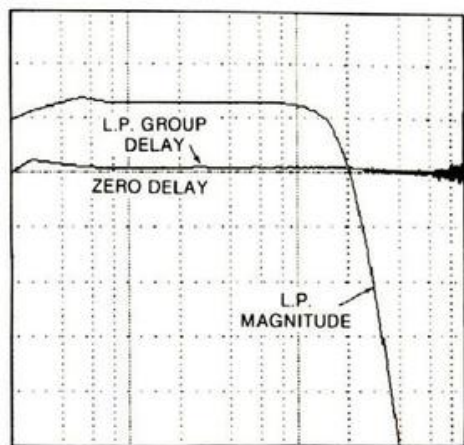


Resolution: 7.0778E+01 Hz
Frequency range: Auto 0.00-10,001.20 Hz

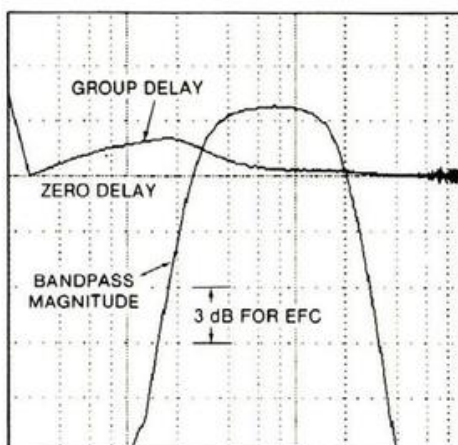


Resolution: 4.4469E+01 Hz
Frequency range: Auto 0.00-10,001.20 Hz

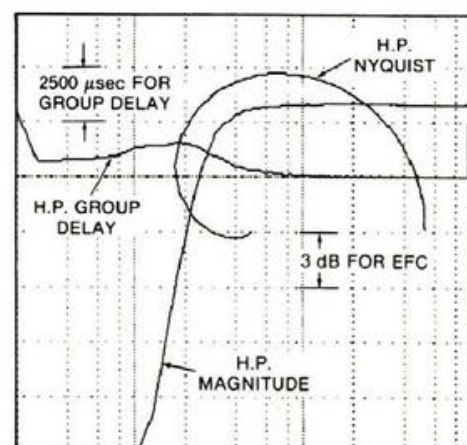
figuras D.12.7, D.12.8 e D.12.9
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



Vertical: 2500 μ sec/division
Horizontal: Auto 0.00-10,001.20 Hz
Log frequency: 2.7 decades



Vertical: 2500 μ sec/division
Horizontal: Auto 0.00-10,001.20 Hz
Log frequency axis: 2.7 decades
Resolution: 4.4469E+01 Hz



Resolution: 4.4469E+01 Hz
Frequency range: Auto 0.00-10,001.20 Hz

figuras D.12.10, D.12.11 e D.12.12

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A magnitude e o NPP podem ser apresentados simultaneamente, como no caso do filtro passa bandas da figura D.12.9.

A figura D.12.10 indica com precisão o atraso de grupo correspondente ao mesmo filtro da figura anterior, juntamente com a repetição da magnitude.

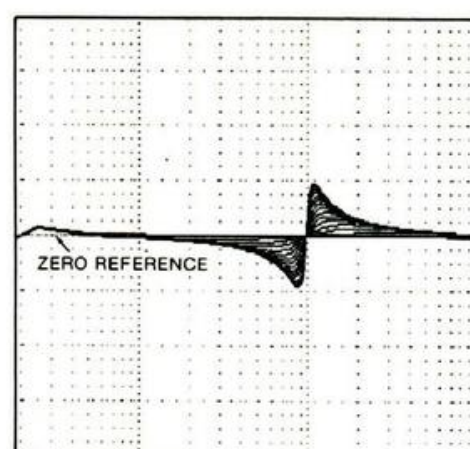
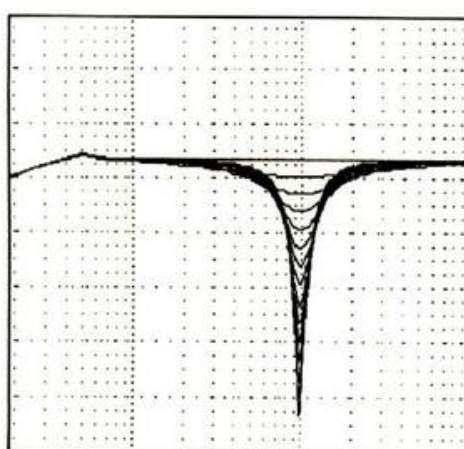
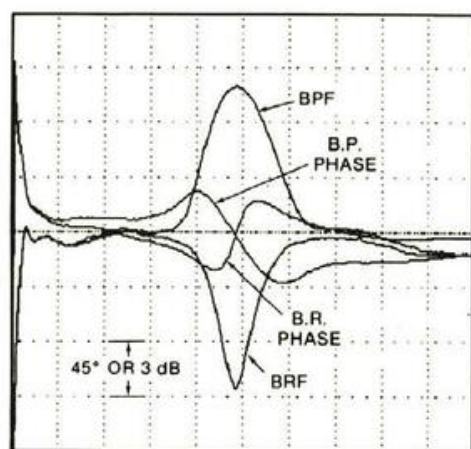
As figuras D.12.11 e D.12.12 mostram as magnitudes e os atrasos de grupo de um filtro passa baixas e de um passa altas, respectivamente.

Na figura D.12.12 também aparece o NPP.

Pode-se notar que o filtro passa baixas apresenta pequeno atraso de grupo, o que já não acontece com o filtro passa altas. Como era de se esperar.

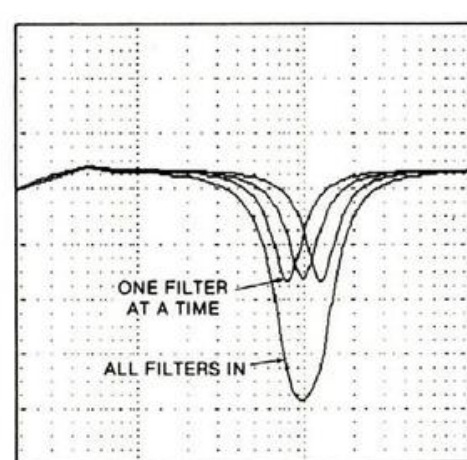
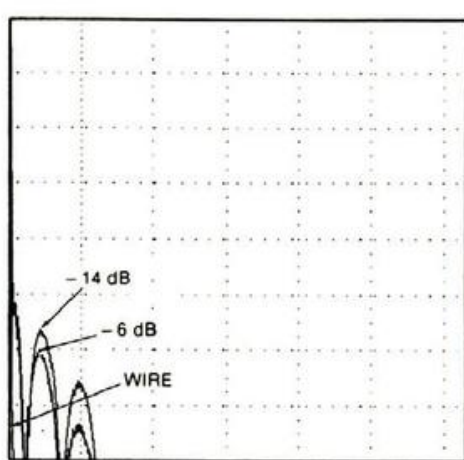
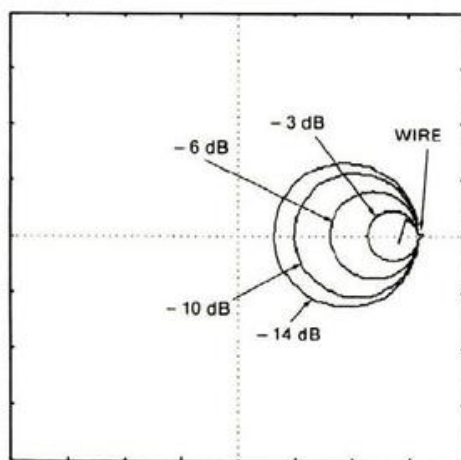
A figura D.12.13 mostra magnitude e a resposta de fase de dois filtros, um passa bandas e outro rejeitor de banda.

A figura D.12.14 exibe a EFC de um filtro rejeita bandas de boa qualidade, em passos de 1,0 dB, com atuação total de 14,0 dB.



figuras D.12.13, D.12.14 e D.12.15

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Na figura D.12.15 estão as respostas de fase correspondentes às medições da figura anterior, enquanto os NPP correspondentes a diversas atenuações do mesmo filtro estão na figura D.12.16.



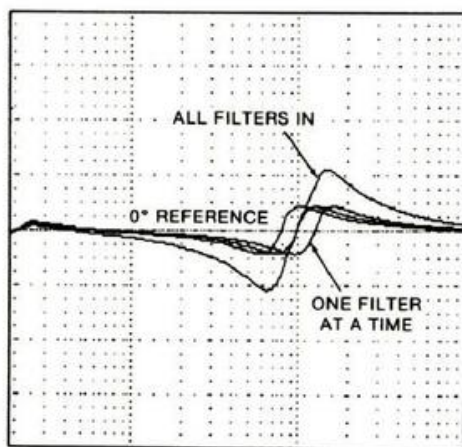
figuras D.12.16, D.12.17 e D.12.18

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura D.12.17 é a ETC do mesmo filtro. Nota-se que a resposta temporal aumenta com a atenuação do filtro, e que há geração de respostas espúrias atrasadas (ringing).

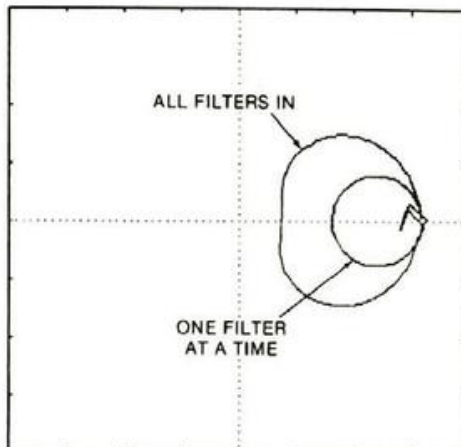
As respostas individuais de três filtros operando com - 6,0 dB estão na figura D.12.18.

Vê-se também outra curva, que corresponde a uma só medição dos três filtros sem alteração de ajustes, mas todos operando simultaneamente.

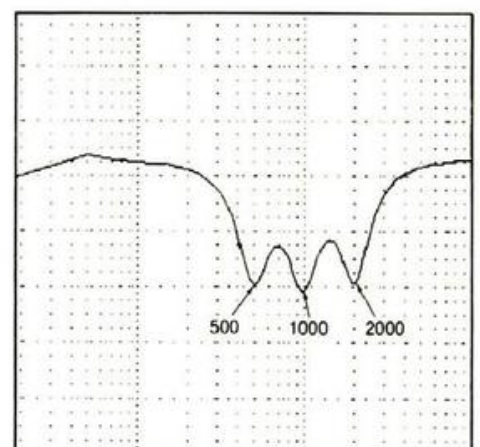
Percebe-se a dramática variação de resposta, que passou a ser a de um único filtro rejeitor, e não o que era de se esperar. Isto é, as respostas de três filtros. Este sério inconveniente é o resultado da combinação inadequada de filtros adjacentes. As respostas de fases individuais e combinadas desses mesmos filtros estão na figura D.12.19, porquanto a figura D.12.20 exibe os correspondentes NPP. A figura D.12.21 mostra as magnitudes dos três filtros, agora com frequências centrais ajustadas para intervalos de oitavas.



Vertical: 45°/division
Horizontal: Auto 0.00-10,001.20 Hz
Log frequency axis: 2.7 decades
Resolution: 4.5066E + 01 Hz

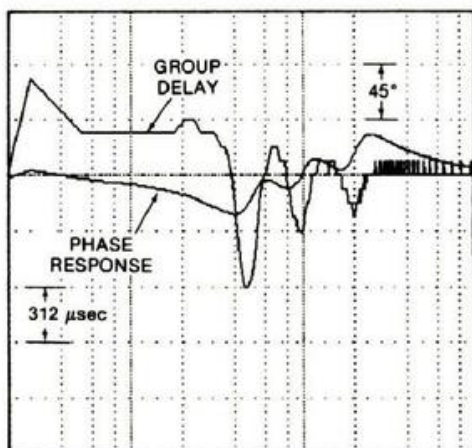


Resolution: 4.5066E + 01 Hz
Frequency range: Auto 0.00-10,001.20 Hz

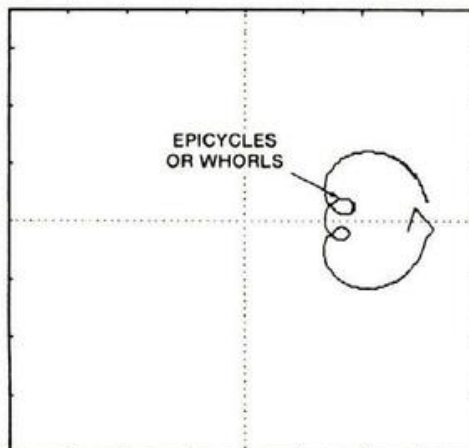


Vertical: 3 dB/division
Horizontal: Auto 0.00-10,001.20 Hz
Log frequency axis: 2.7 decades
Resolution: 4.5066E + 01 Hz

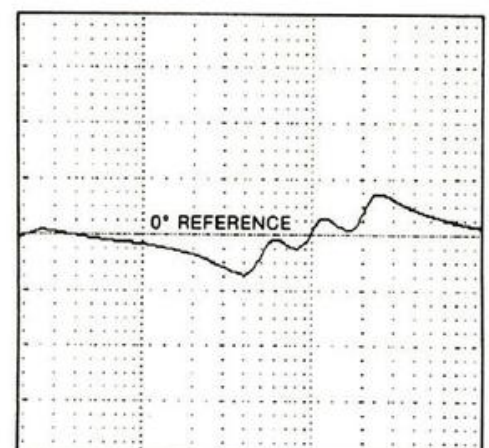
figuras D.12.19, D.12.20 e D.12.21
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



LOG FREQUENCY



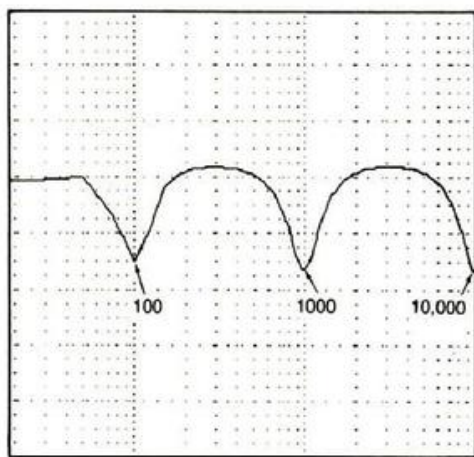
Resolution: 4.5066E + 01 Hz
Frequency range: Auto 0.00-10,001.20 Hz



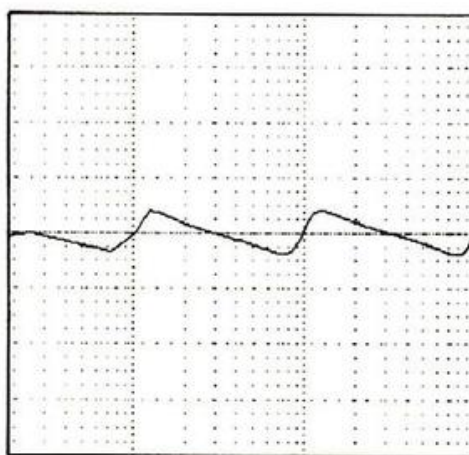
Vertical: 45°/division
Horizontal: Auto 0.00-10,001.20 Hz
Log frequency axis: 2.7 decades
Resolution: 4.5066E + 01 Hz

figuras D.12.22, D.12.23 e D.12.24

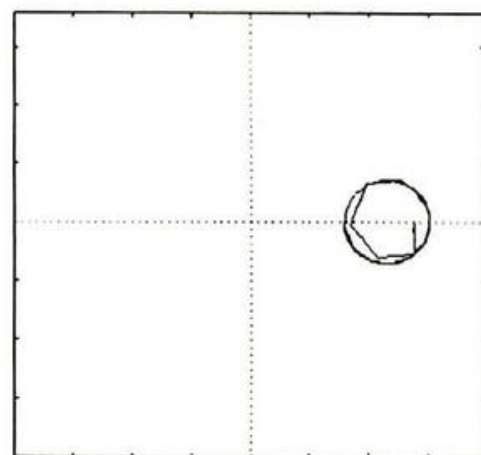
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura D.12.22 mostra a resposta de fase e o atraso de grupo do arranjo dos três filtros, ainda espaçados por intervalos de oitavas. A figura D.12.23 mostra o NPP da mesma situação, evidenciando epícciclos do tipo encontrado diante de atraso de sinais. A figura D.12.24 mostra as respostas de fase correspondentes aos três filtros, como ajustados para a medição da figura D.12.21. A figura D.12.25 mostra a magnitude dos três filtros, porém, agora espaçados por intervalos de uma década. As figuras D.12.26 e D.12.27 mostram as respostas de fase correspondentes, e o NPP, nessa ordem, para os filtros espaçados por décadas.



Vertical: 3 dB/division
Horizontal: Auto 0.00-10,001.20 Hz
Log frequency axis: 2.7 decades
Resolution: 4.5066E + 01 Hz



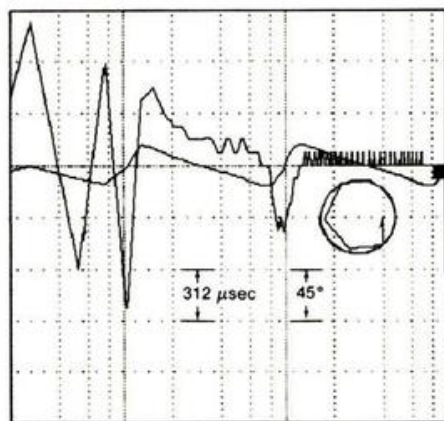
Vertical: 45°/division
Horizontal: Auto 0.00-10,001.20 Hz
Log frequency axis: 2.7 decades
Resolution: 4.5066E + 01 Hz



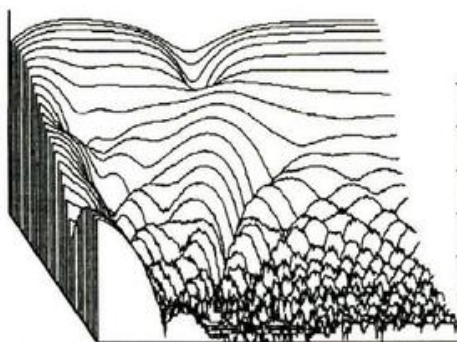
Resolution: 4.5066E + 01 Hz
Frequency range: Auto 0.00-10,001.20 Hz

figuras D.12.25, D.12.26 e D.12.27

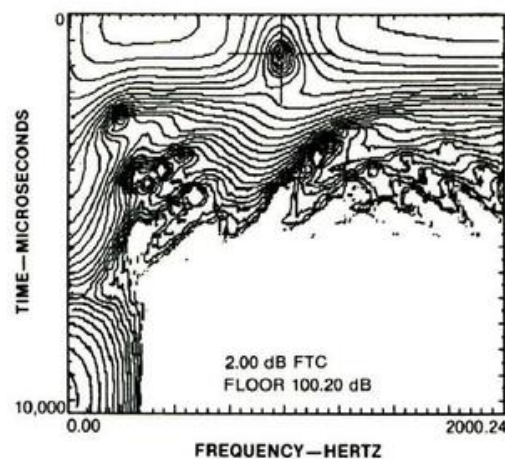
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura D. 12.28 mostra o atraso de grupo, a resposta de fase e o NPP do mesmo arranjo das medições anteriores. A figura D.12.29 é a vista 3-D (TEF) de um dos filtros. A figura D.12.30 é a FTC do mesmo filtro, mostrando os efeitos do filtro passa altas e seu pequeno “ringing”.



LOG FREQUENCY

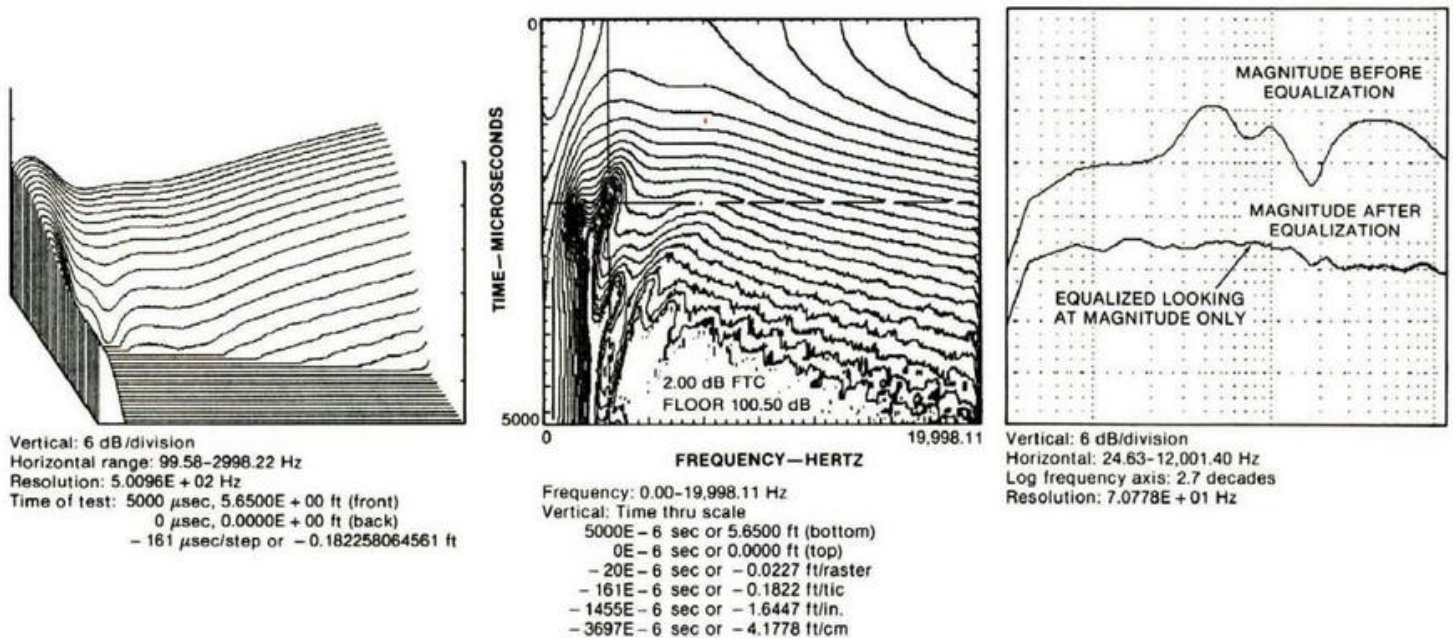


Vertical: 12 dB/division
Horizontal: 0.00-2000.24 Hz



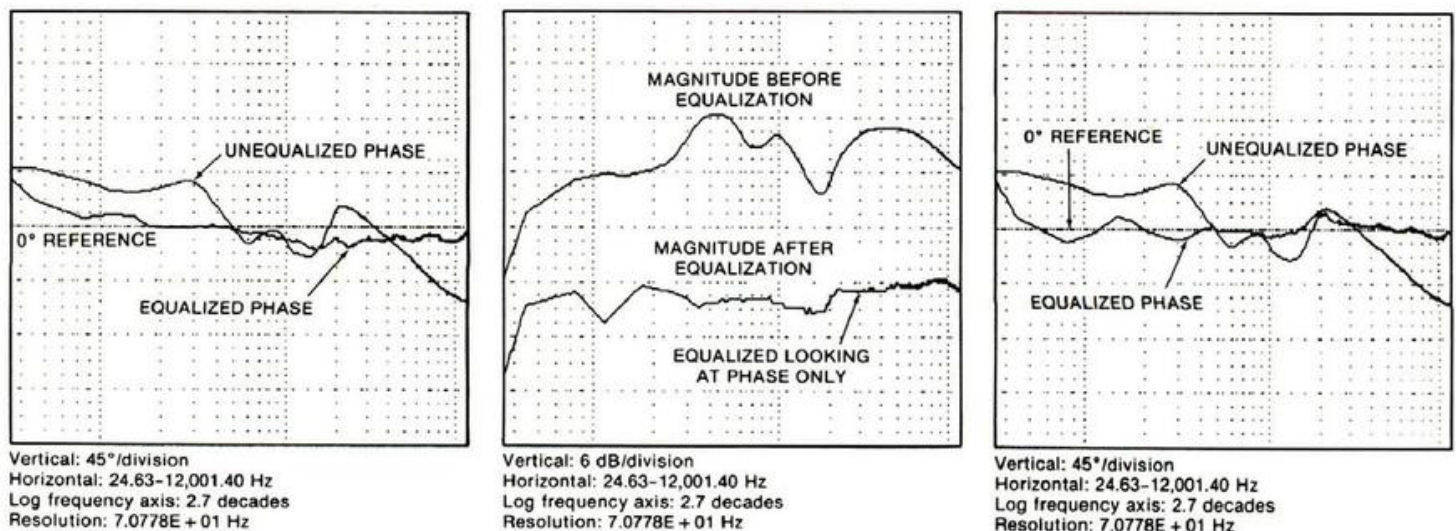
2.00 dB FTC
FLOOR 100.20 dB
Frequency: 0.00-2000.24 Hz
Vertical: Time thru scale
10,000E-6 sec or 11.3000 ft (bottom)
0E-6 sec or 0.0000 ft (top)
- 40E-6 sec or - 0.0455 ft/raster
- 322E-6 sec or - 0.3644 ft/tic
- 2911E-6 sec or - 3.2896 ft/in.
- 7394E-6 sec or - 8.3556 ft/cm
Resolution: 5.3674E + 02 Hz

figuras D.12.28, D.12.29 e D.12.30
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne



figuras D.12.31, D.12.32 e D.12.33

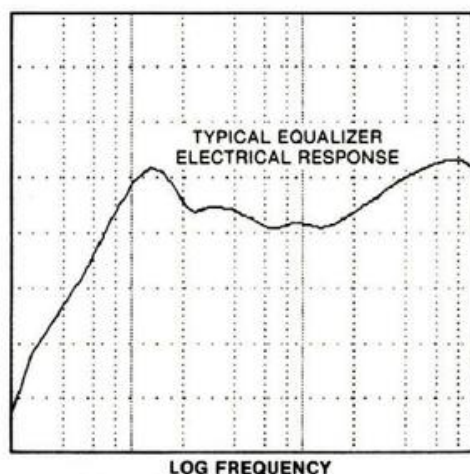
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura D.12.31 é a TEF de uma serie de filtros combinados para uma determinada equalização, e a figura D.12.32 é a FTC do mesmo arranjo. As magnitudes de um sistema não equalizado e equalizado, apenas com os sinais diretos (não com o campo de som total) aparecem na figura D.12.33.



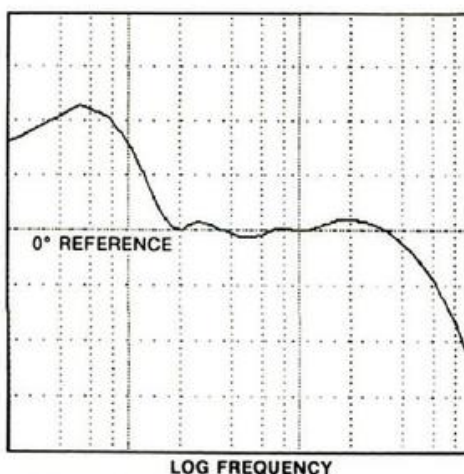
figuras D.12.34, D.12.35 e D.12.36

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura D.12.34 mostra as correspondentes respostas de fase.

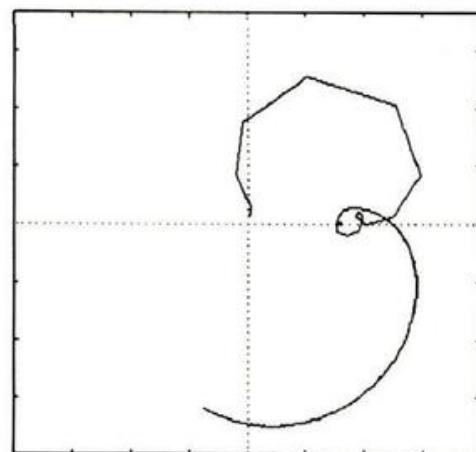
A figura D.12.35 mostra as magnitudes do mesmo sistema não equalizado e equalizado, agora com a equalização orientada exclusivamente pelas respostas de fase, como observadas na tela do analisador e apresentados na figura D.12.36.



Vertical: 6 dB/division
Horizontal: 0.00–10,001.20 Hz
Log frequency axis: 2.7 decades
Resolution: 7.0778E+01 Hz



Vertical: 45°/division
Horizontal: 0.00–10,001.20 Hz
Log frequency axis: 2.7 decades
Resolution: 7.0778E+01 Hz



Resolution: 7.0778E+01 Hz
Frequency range: 0.00–10,001.20 Hz

figuras D.12.37, D.12.38 e D.12.39

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura D.12.37 exibe uma curva típica de ajuste de equalizador, cuja resposta de fase é a da figura D.12.38. Os correspondentes NPP e 3-D estão nas figuras D.12.39 e D.12.40, respectivamente.

Creio que isso é o suficiente para dar uma idéia ampla do enorme potencial e da incrível versatilidade do instrumento.

Para fazer apenas uma comparação de sua utilização em relação ao emprego de meios tradicionais, vejamos o caso de uma simples equalização.

Já vimos que o método convencional mais utilizado vale-se de um RTA de 1/3 de oitava.

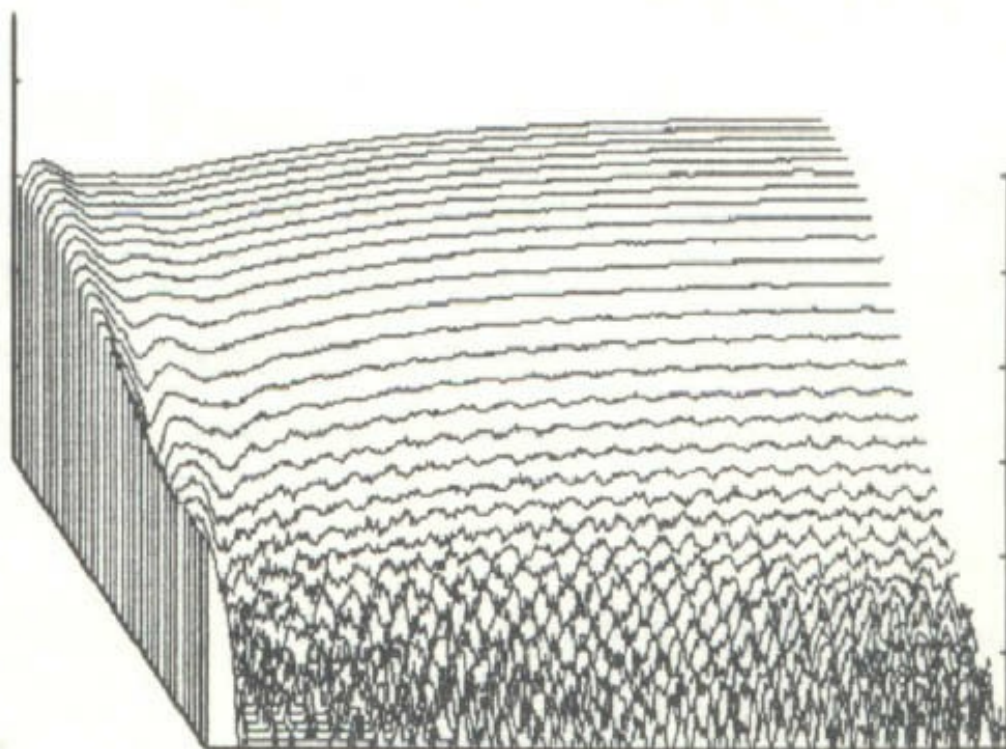


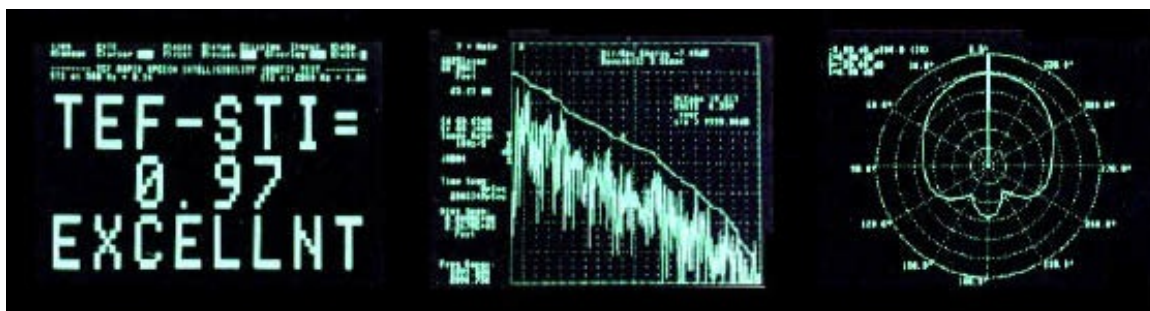
figura D.12.40

acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Assim, só é possível equalizar a média de uma resposta acústica que inclui tanto o campo direto quanto o reverberante. Não apenas o campo mais pertinente, que é o formado apenas pelos sinais diretos.

Por isso, mas também por não levar absolutamente em conta a dimensão tempo, este

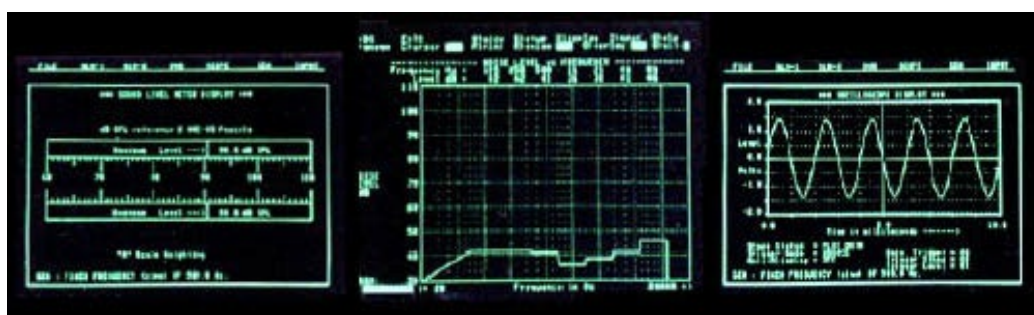
método tem produzido resultados tais que por vezes o comportamento do sistema sem qualquer equalização acaba melhor do que com ela.

De fato, sem o analisador TEF não é possível quantificar com o grau necessário de precisão a contribuição dos sinais refletidos dos ambientes. E tal instrumento elimina de vez todas essas grandes limitações, como mostram claramente as figuras D.12.33 a D.12.36.



figuras D.13.1, D.13.2 e D.13.3

acervo do eng^o Luiz Fernando O. Cysne As figuras D.13.1 a D.13.6 mostram respectivamente a medição direta de inteligibilidade pelo processo RASTI, a determinação direta do AL_{CONS} %, o levantamento de uma resposta polar, a tela do instrumento configurada para operar como um medidor de nível de pressão sonora, a medição direta de ruídos com espectro segmentado em oitavas, e a tela do instrumento preparado para operar como um osciloscópio digital.



figuras D.13.4, D.13.5 e D.13.6

acervo do eng^o Luiz Fernando O. Cysne D.8 MAIS APERFEIÇOAMENTOS

O TEF10 foi o primeiro analisador TEF lançado pela Tecron.

Depois disso, foram introduzidas algumas outras versões, como o TEF12, sempre com aperfeiçoamentos de hardware e de software.

O modelo atual já é bastante diferente dos que discutimos até aqui.

As principais alterações são a mudança de conceito de computador, e a capacidade de medição.

Com relação ao primeiro item, o TEF atual já não mais utiliza uma tela dedicada, pois pode contar com o apoio de computadores pessoais, inclusive seus monitores.

A segunda grande mudança refere-se à capacidade de processamento e poder da máquina. Que são realmente algo de fascinante e de extraordinário.

Uma das mais recentes e alvissareiras novidades para os usuários de TEF foi o lançamento de uma plataforma de medições, que possibilita efetuar medidas em bandas 1, 1/2, 1/3, 1/6 e 1/12 de oitava. As apresentações dos dados podem ser feitas com 3,0, 6,0 ou 12,0 dB/divisão.

Essas informações podem ser armazenadas em camadas diferentes, e depois superpostas, para efeito de comparações.

Inclusive pela técnica do modo diferença.

A idéia de utilização de camadas também é recurso novo do instrumento. Com medições registradas em camadas diferentes, as comparações são coisa rotineira. Inclusive com possibilidade de criação de templates, ou faixas de ajuste, ou de aceitação de medidas.

A versão atual do analisador é o que mostra a figura D.14.



Figuras D.14 Versão atual do analisador TEF 20 SHIP (Serial HI-Parallel) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

apêndice E
o milagre do ouvido humano



APÊNDICE E - O MILAGRE DO OUVIDO HUMANO

E.1 OUVIDO EXTERNO

E.2 OUVIDO MÉDIO

E.3 OUVIDO INTERNO

E.4 O MECANISMO DA AUDIÇÃO

E.5 VOLTAGENS

E.6 MECANISMO NEURONAL

E.7 PERCEPÇÃO PSICOFÍSICA E CARACTERÍSTICAS AUDITIVAS

E.7.1 Audição Binaural e Localização da Direção dos Sons E.7.1.1 DII - Diferença de Intensidade Interaural E.7.1.2 DTI - Diferença de Tempo Interaural E.7.1.3 DFI - Diferença de Fase Interaural E.7.1.4 DCI - Diferença de Complexidade Interaural E.7.1.5 Reflexões E.7.1.6 Som e Imagem E.7.1.7 Outras Pistas E.7.1.8 Rotação da Cabeça E.7.1.9 Tons Puros e Formas de Onda Complexas E.7.2 Efeito Precedência E.7.3 Efeito Haas E.7.4 Mascaramento Acústico E.7.5 Discriminação Auditiva E.8 O QUE PODEMOS OUVIR

E.8.1 Sensibilidade Auditiva Versus Níveis de Pressão Sonora E.8.1.1 Phons
E.8.1.2 Sones

E.8.2 Audibilidade, Largura de Banda e Bandas Críticas E.8.3 Os Impulsos e Como os Ouvimos E.9 EDUCAÇÃO DO OUVIDO

E.10 ALAVANCAGEM E DEFESA DO OUVIDO

E.11 ALGUMAS LIMITAÇÕES DE NOSSOS OUVIDOS

E.11.1 Geração de Harmônicas E.11.2 Combinação de Tons E.11.3 Beats
E.11.4 Outras Limitações E.12 ESTUDOS E PERSPECTIVAS

APÊNDICE E - O MILAGRE DO OUVIDO HUMANO

A maioria das pessoas envolvidas com áudio profissional costuma dar pouca ou nenhuma importância a esse órgão de nosso corpo, mesmo sabendo que é ele, o ouvido, o elo final de todo e qualquer sistema de áudio. Mesmo sabendo que é ele o juiz final do que

convencionamos chamar de qualidade. Ou da falta dela. Mesmo sabendo que o mecanismo da audição é o milagre dos milagres.

Qualquer pesquisa que se faça com a literatura especializada em áudio, nacional e estrangeira, por mais superficial que seja, mostrará que praticamente todo o espaço disponível é dedicado a artigos relacionados exclusivamente com equipamentos e reportagens, além de textos técnicos.

Em marcante contraste, muito pouco espaço é dado ao ouvido humano, órgão único em função do qual cada um de nós aplica o melhor de si próprio na tentativa de desenhar sistemas de som. Que lá estão apenas para servir aos ouvidos humanos.

Essa dicotomia sugere duas possibilidades. Uma, de se estar procurando trabalhar só com o que é mais conhecido, deixando de lado as coisas que dominamos menos. Como será visto, ainda conhecemos muito pouco sobre nossos próprios ouvidos. A outra, é uma certa tendência de tratar do áudio como um fim em si, e não como meio, que efetivamente é. Creio que no Brasil precisamos trabalhar mais próximos de outras comunidades de colegas profissionais, como a querida Sociedade Brasileira de Acústica, a SOBRAC, e também, dos médicos.

Não é minha intenção tentar compensar esse estado de coisas prestigiando o ouvido humano, mas sim analisá-lo, e comentar os estudos que estão sendo feitos sobre ele. Também pretendo mostrar algumas conclusões, que provavelmente vão interessar à comunidade dos profissionais do áudio.

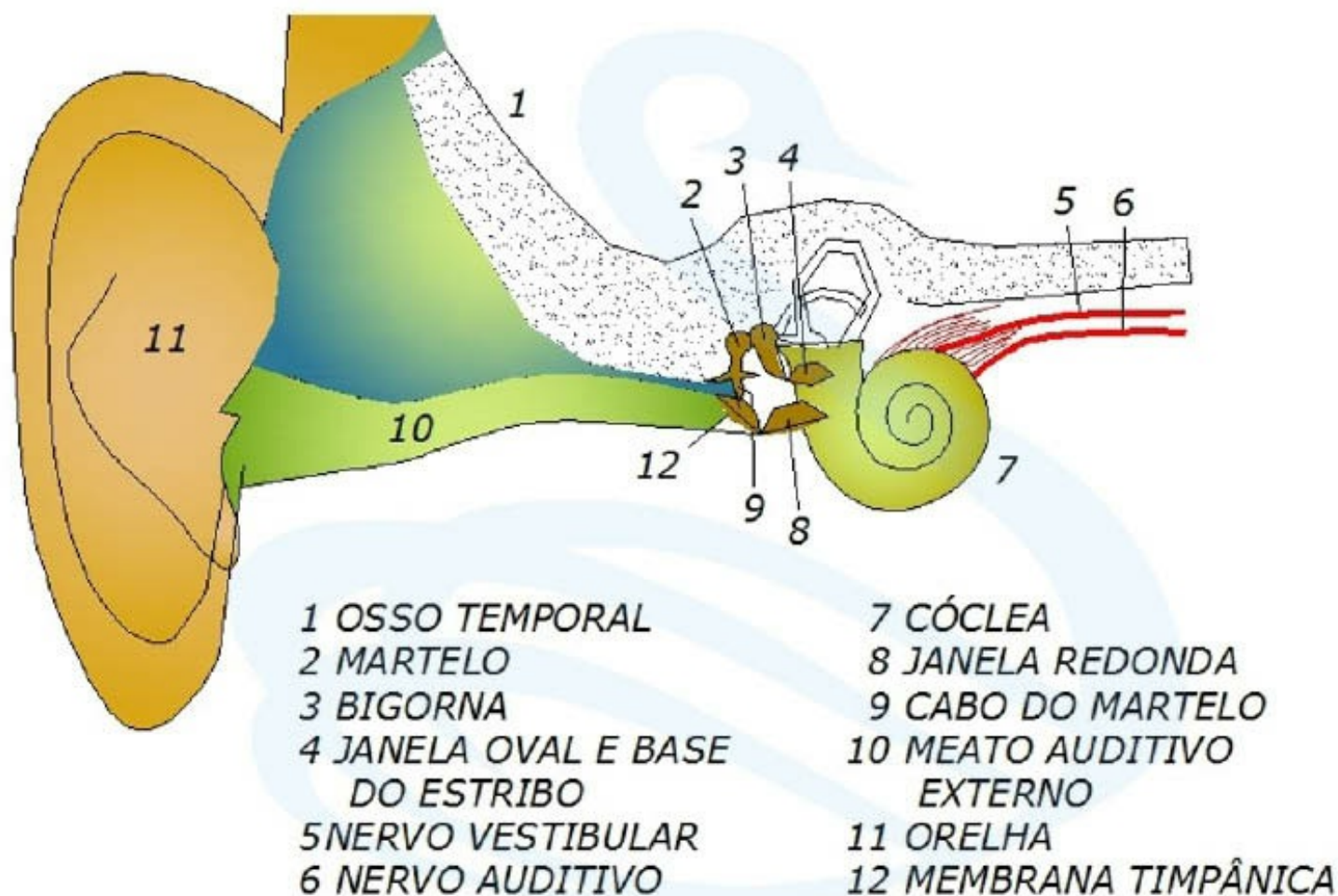


figura E.1 ideia geral do ouvido humano acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Para tanto, tratarei da anatomia do ouvido e de suas principais propriedades, particularmente das que são relevantes para o áudio profissional.

O ouvido humano, esquematizado na figura E.1, costuma ser dividido em três partes: ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno.

E.1 OUVIDO EXTERNO

O ouvido externo compõe-se da aba externa cartilaginosa e carnuda, ou pavilhão auditivo, ou ainda, orelha, e um tubo dirigido para o interior da cabeça, que é o meato auditivo externo, ou canal auditivo.

A orelha é uma fibrocartilagem amarela coberta de pele dos dois lados, sendo que a parte inferior, o lóbulo, não contém tecido cartilaginoso.

Na parte central da orelha fica a concha, da qual sai o meato auditivo externo. Este mede cerca de 2,5 centímetros, dos quais a terça parte também é cartilaginosa, e o restante de estrutura óssea. O meato auditivo externo é todo recoberto de pele, cujas glândulas sudoríparas foram modificadas pela natureza para secretar uma substância com a consistência de cera, denominada cerume.

O meato auditivo externo termina na membrana timpânica, considerada o limite entre os ouvidos externos e médio.

E.2 OUVIDO MÉDIO

O ouvido médio, ou tímpano, fica contido numa pequena cavidade do osso temporal, denominada cavidade timpânica.

A parede superior dessa cavidade é uma finíssima placa de osso. Em vez de parede inferior, há uma espécie de sulco, formado pelo encontro das paredes interna e externa.

A parede externa do tímpano confunde-se com a membrana timpânica, que separa totalmente o ouvido externo do médio. Essa membrana é de formato circular, inclinada para baixo como mostra a figura E.1, sendo sua parte externa recoberta por uma espécie de membrana mucosa. Entre essas duas coberturas fica um tecido fibroso muito consistente, convexo para o interior a partir do centro.

Na parede interna do tímpano há duas janelas: a oval, na parte superior, e a redonda, na parte inferior. Esta fechada por outra membrana.

O tímpano completo mede pouco mais do que 1 centímetro de profundidade, e a mesma coisa de altura.

O ouvido médio é repleto de ar, exceto por três ossículos. O martelo (malleus), a bigorna (incus) e o estribo (stapes). Os três são unidos por ligamentos flexíveis, formando uma espécie

de linque mecânico entre as paredes externa e interna do ouvido médio.

O martelo é o ossículo mais externo. Seu “cabo” é preso ao centro da membrana timpânica, e sua “cabeça” articula posteriormente com a parte superior do próximo ossículo, a bigorna. A projeção mais longa da bigorna desce para terminar num nódulo que se liga ao estribo. A base deste se encaixa na janela oval, que fica vedada não só pela base do estribo, mas também por um ligamento anular.

Em posição normal, a projeção mais longa da bigorna faz praticamente um ângulo reto com o estribo.

Quando o cabo do martelo é movido na direção do centro da cabeça pela membrana timpânica, a ponta do ossículo move-se para fora, o mesmo acontece com a parte superior da bigorna. Isso faz com que o nódulo também se mova na direção do centro da cabeça, pressionando a base do estribo contra a janela oval, numa autêntica função de alavanca. E vejam como é natureza. Em fase.

Pelo processo inverso, quando o cabo do martelo é movido para fora pela membrana timpânica, a base do estribo é movida no sentido de afastar-se da janela oval.

Finalmente, o tímpano liga-se com a nasofaringe através da trompa de Eustáquio, via que possibilita a troca de ar entre a cavidade timpânica e a faringe, particularmente durante o processo de deglutição.

Tal mecanismo permite reequilibrar pressões entre ouvidos médio e externo, como nos casos de viagem aéreas, onde o ouvido externo fica sujeito a pressões atmosféricas inferiores ao nível normal. Ou quando descemos uma serra de automóvel, situação que faz aumentar progressivamente a pressão atmosférica sobre a membrana timpânica.

E.3 OUVIDO INTERNO

O ouvido interno, também chamado labirinto, fica alojado no interior do osso temporal. Ele é formado por uma parte óssea e uma membranosa. Esta contida naquela.

O labirinto ósseo inclui o vestíbulo, os canais semicirculares e a cóclea, como mostra a figura E.1.

O vestíbulo fica exatamente atrás da cavidade timpânica, e haveria comunicação entre eles através da janela oval se não fosse o bloqueio oferecido pela base do estribo. O vestíbulo liga-se com a fossa cranial traseira através do aqueduto vestibular.

Na parte superior do vestíbulo ficam três canais semicirculares, que formam o órgão do equilíbrio, com a função de orientar a posição do corpo humano em relação ao espaço físico.

A parte anterior do vestíbulo leva à cóclea, que é o órgão da audição. Desde sua base junto ao vestíbulo, até o apex, a outra extremidade, também chamada helicotrema, a cóclea tem

comprimento total aproximado de 3 a 4 centímetros, e é enrolada helicoidalmente - cerca de 2 voltas e meia - em torno de um eixo central, denominado modiolus. Sua aparência física é a de um cone arredondado e helicoidal, como uma concha de caracol.

Do modiolus projeta-se uma lâmina óssea, a lâmina espiral, que também é enrolada em torno do eixo, e prolonga-se da base ao apex, passando através do canal da cóclea. Essa lâmina dá passagem e protege os ramos do nervo auditivo.

No vestíbulo há duas vesículas membranosas, o utrículo e o sáculo.

Os canais semicirculares são ligados ao utrículo. Da parte inferior do sáculo sai um pequeno canal, dominado duto endolinfático.

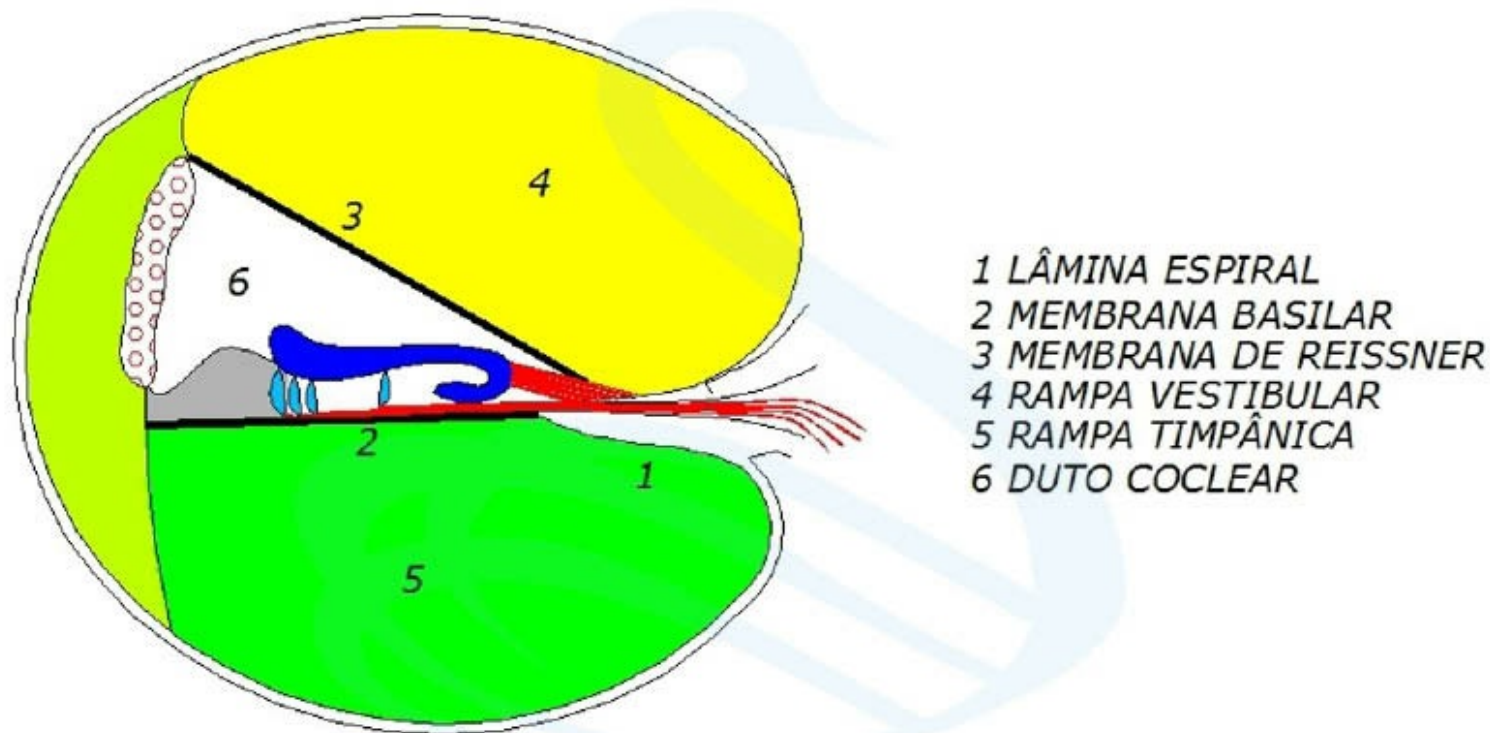


figura E.2 corte transversal da cóclea acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O corte transversal da cóclea é ilustrado na figura E.2. Vemos lá a lâmina espiral e seu prolongamento para o interior da cóclea, então denominado membrana basilar. E ela divide o canal em duas metades, a superior e a inferior. Próxima à extremidade livre da lâmina espiral, a membrana de Reissner parte em direção à parede externa, formando uma fatia triangular, tirada da metade superior.

Essa estrutura divide a parte membranosa em três canais, que seguem paralelamente através de toda a cóclea.

O canal superior é a rampa vestibular, o inferior a rampa timpânica, e o central, que é a fatia triangular, é o duto coclear, ou canal coclear, ou ainda, cóclea membranosa verdadeira.

As rampas vestibular e timpânica são totalmente repletas de uma substância líquida rica em íons de sódio, que é a perilinfa. Por sua vez, o duto coclear é repleto de outra substância líquida, rica em potássio, a endolinfa.

As rampas vestibular e timpânicas se comunicam no apex da cóclea, de modo a dar passagem para a perilinfa.

Na base da cóclea, a perilinfa da rampa vestibular comunica-se com a do vestíbulo, e há

uma passagem da rampa vestibular para a janela oval.

A perilinfa da rampa timpânica faz contato com a superfície interna da membrana que veda a janela redonda.

Ainda na base da cóclea, a endolinfa do duto coclear comunica-se com a do sáculo através do canal de Hensen, sendo que no apex o duto coclear fecha-se sem comunicações.

É o duto coclear que abriga o órgão essencial da audição, o órgão de Corti, também chamado sistema sensorial. Ele fica entre a membrana basilar e a membrana tectorial, como mostra a figura E.3, que é uma ampliação do canal coclear, visto na figura E.2.

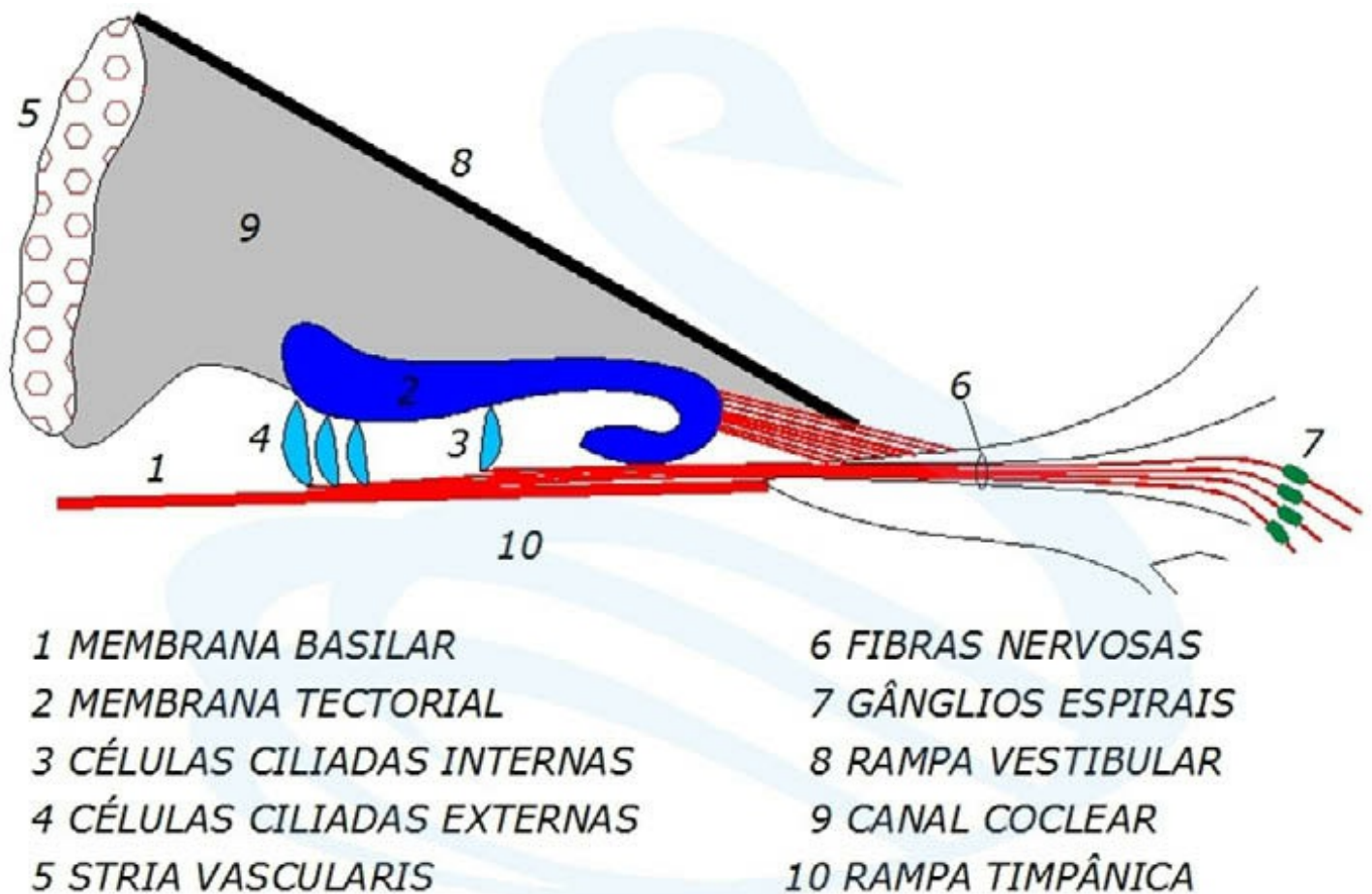


figura E.3 detalhes do órgão de Corti acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O órgão de Corti é formado por células receptoras, denominadas células ciliadas. O nome deve-se ao fato das células possuírem terminais submicroscópicos com aspectos de cílios.

Há células ciliadas internas dispostas numa única fila, e externas, dispostas em três fileiras.

As células ciliadas também ficam em contato com a membrana tectorial.

Na parte externa do duto coclear fica a stria vascularis, concentrando vasos sanguíneos em profusão. Isso garante não só o suprimento energético da cóclea, mas também a manutenção da concentração de potássio da endolinfa.

As fibras do nervo auditivo, provenientes do sistema nervoso central, vão ter aos gânglios espirais, vistos na figura E.3, cujas células nervosas são bipolares, de vez que, no outro pólo, as fibras passam pela lâmina espiral e são distribuídas às células ciliadas, onde terminam.

E.4 O MECANISMO DA AUDIÇÃO

Em forma de variações de pressão (pressão dinâmica), os sons são captados pelas orelhas, que são as antenas da energia acústica. Isso é tão mais verdadeiro quanto mais elevada é a frequência do som.

Através do meato auditivo externo os sons põem em vibração a membrana timpânica.

Como vimos anteriormente, esta empurra ou puxa o cabo do martelo, provocando o movimento da base do estribo na janela oval.

Através da abertura que liga a janela oval à rampa vestibular, o movimento é transmitido à perilinfa que, por ser praticamente incompressível, só encontra uma única válvula diafragmática, a janela redonda.

Portanto, a perilinfa fica sujeita às oscilações transmitidas pelos ossículos. E isso provoca movimento no duto coclear, mais especificamente, deslocamentos relativos entre as membranas vestibular e basilar, envolvendo também a membrana tectorial.

Quanto mais elevada é a frequência do som, menor o segmento da membrana vestibular que é excitado a partir da base da cóclea. E esses movimentos exercem força física sobre as células ciliadas, como procura mostrar de modo muito exagerado a figura E.4, numa tentativa de reproduzir partes do corte do duto coclear.



figura E.4 reação das células ciliadas aos movimentos relativos das membranas basilar e tectorial
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O próximo passo é a transdução auditiva, isto é a transformação do estímulo mecânico em impulso neuronal.

E.5 VOLTAGENS

As diversas áreas da cóclea estão permanentemente submetidas à voltagens, mesmo na ausência de sons.

Como ilustra a figura E.5.

Se imaginarmos um potencial elétrico de referência de valor nulo, por exemplo na perilinfa da rampa vestibular, então, a endolinfa do duto coclear apresentará voltagem positiva de aproximadamente 80 milivolts. Lembre-se de que uma cápsula fonográfica tipo MM com nível nominal de saída apenas médio, dificilmente gera 10 milivolts a 5 cm/segundo.

Nas mesmas circunstâncias, o órgão de Corti e a stria vascularis apresentarão voltagem

negativa em relação ao potencial de referência.

Essas voltagens comprovadamente existem, pois foram medidas através de microeletrodos introduzidos em ouvidos humanos, na ausência de sons. Desse modo, os valores medidos podem ser considerados voltagens quiescentes. Ou seja, voltagens de polarização do ouvido interno.

Quando os sons se fazem presentes, surgem pelo menos mais dois tipos de voltagens. A voltagem microfônica e a voltagem de excitação do nervo auditivo. A voltagem microfônica ganhou seu nome de vez que o valor do potencial elétrico varia de modo análogo às flutuações do nível de pressão sonora, exatamente como acontece com os microfones.

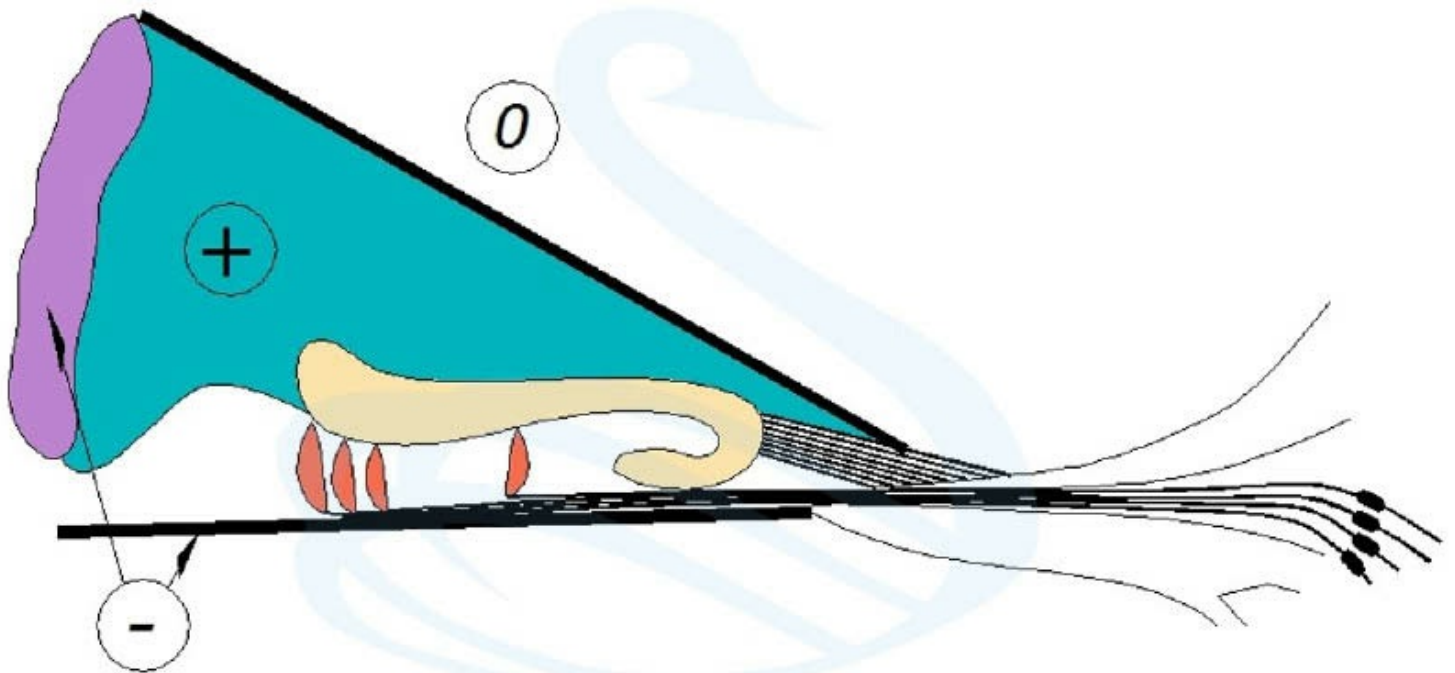


figura E.5 voltagens sempre presentes na cóclea acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Boa parte da medicina especializada e da engenharia biológica acredita que a força física exercida sobre as células ciliadas, e os correspondentes deslocamentos físicos provocados nos cílios produzam variações de condutância elétrica na membrana das células ciliadas.

Com efeito, a voltagem entre a endolinfa e o interior das células ciliadas pode ultrapassar facilmente os 150 milivolts. Tais níveis de voltagem se combinam com prováveis alterações de condutância elétrica da membrana, e possivelmente causam uma migração iônica acompanhada de liberação de substância junto aos polos das células ciliadas, o que excitaria as fibras nervosas ligadas a elas.

E esses seriam os impulsos neuronais transferidos ao sistema nervoso.

E.6 MECANISMO NEURONAL

Os conhecimentos que temos do mecanismo neuronal no processo de percepção dos sons estão baseados numa série de teorias propostas por alguns estudiosos do passado, como Hermann Von Helmholtz, que em 1.857 propôs a teoria da ressonância, e Willian Rutherford, que em 1.886 sugeriu a teoria do telefone. Mas recentes pesquisas que vem sendo feitas sobre

o assunto ao redor de todo o mundo têm apresentado contribuição inestimável para a elucidação progressiva de aspectos ainda não totalmente conhecidos com a profundidade desejada.

A partir de 1.940 se passou a considerar mais seriamente a atividade cerebral e as reações do sistema nervoso central diante dos estímulos acústicos.

Sabe-se que as células ciliadas e fibras nervosas primárias, ligadas às células ciliadas, fazem a análise do som quanto à frequência. Dessa forma, a organização de centros auditivos é tonotópica, ou seja, o tom correspondente a uma determinada frequência produz atividade neuronal em partes limitadas das vias e centros auditivos.

A Figura E. 6 esquematiza de forma muito resumida o roteiro dos impulsos neuronais. Como vimos, eles têm início nas células ciliadas. Passam pelos gânglios espirais e vão ter às células do núcleo vestibular, que se divide em duas partes, a dorsal e a ventral.

A parte ventral do núcleo vestibular transmite os impulsos neuronais para as duas seções do complexo olivar, de modo que ambos recebem impulsos dos dois ouvidos.

Um dos complexos olivares transmite os impulsos neuronais para o correspondente núcleo de Lemnisco, porquanto o outro transmite impulsos para a aos dois núcleos de Lemnisco. Por outro lado, a parte dorsal do núcleo vestibular transmite os impulsos para o núcleo de Lemnisco que já recebe impulsos dos dois complexos olivares.

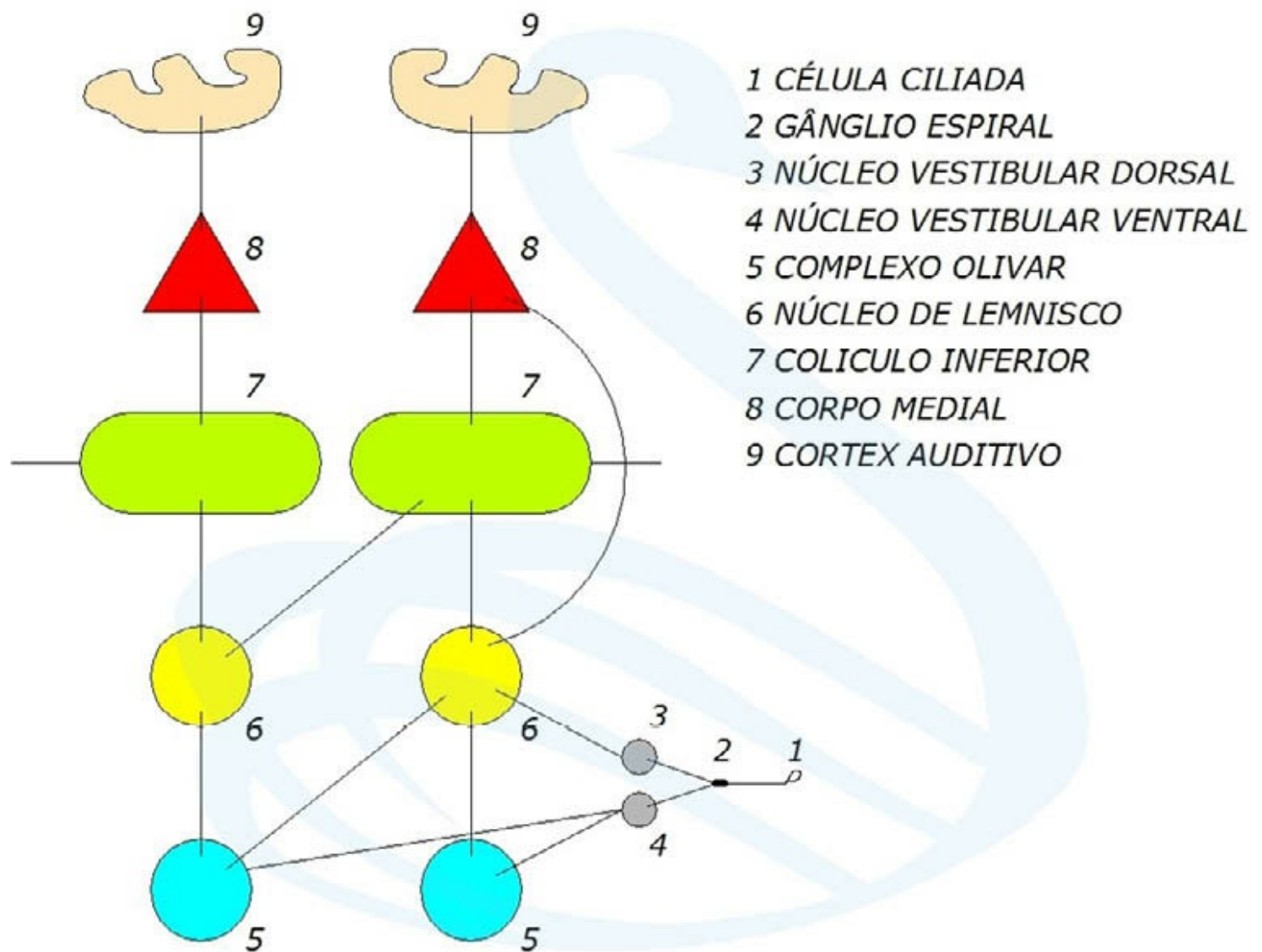


figura E.6 roteiro provável dos impulsos neuronais da audição acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne
 Os núcleos de Lemnisco transmitem impulsos para o colículo inferior, conforme diagrama da figura, e este por sua vez transmite impulsos para os corpos mediais, sendo que um deles recebe impulsos em mais profusão do que o outro. A próxima e última instância é o córtex auditivo.

Tal arranjo sugere que, além da organização tonotópica, o mecanismo neuronal tem estruturação hierárquica natural extremamente complexa, da qual conhecemos relativamente pouco.

A duração dos sons corresponde a duração dos estímulos mecânicos e neuronais, sendo que níveis de pressão sonora mais elevados provocam excitações mais intensas. É provável que as células ciliadas da parte ventral do núcleo vestibular se comportem como as do nervo auditivo, o que não ocorre com as da parte dorsal do mesmo núcleo, cujos neurônios podem ser bloqueados mesmo diante de estímulos acústicos.

Tons puros e sons de natureza simples dificilmente conseguem provocar reações das células nervosas dos níveis mais elevados de análises, o que indica distribuição de inteligência pelos vários níveis.

Há neurônios que só respondem no início e/ou final do estímulo acústico. E também há células que são ativadas por determinadas frequências, mas inibidas por outras.

Pode-se afirmar com certeza que, quanto mais complexo é o estímulo, mais elevado é o

nível do neurônio que responderá.

Algumas pesquisas feitas com impulsos neuronais dos centros superiores mostram que o sincronismo entre frequência e impulsos é tanto menor quanto mais elevado é o nível do centro que se pesquisa.

Quando se aumenta a intensidade de um tom puro há um aumento correspondente da atividade da cóclea. Mais células ciliadas são excitadas e mais células nervosas contribuem com estímulo neuronal para o sistema nervoso central.

Estudos e pesquisas também mostram que, nessas circunstâncias, há um acréscimo da taxa de atividade das fibras nervosas já excitadas, resultando num aumento de impulsos neuronais por unidade de tempo. Isso é aparentemente válido para os centros de todos os níveis.



figura E.7 aspecto do cérebro humano visto de cima, e localização do nervo auditivo acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura E.7 mostra o aspecto de um cérebro humano visto de cima, no qual o pequeno círculo preto indica a localização aproximada do nervo acústico. Que é o VIII nervo cranial. Por sua vez, este inclui a seção vestibular, que serve ao sentido do equilíbrio, e a seção coclear, que serve ao sentido da audição. As duas seções estão intimamente relacionadas, mas possuem centros independentes e distribuições periféricas distintas.

E.7 PERCEPÇÃO PSICOFÍSICA E CARACTERÍSTICAS AUDITIVAS

Altura, intensidade e timbre já foram discutidos no capítulo 3. E essas são nossas três principais percepções psicofísicas, que correspondem às propriedades físicas dos sons. Frequência, intensidade e forma de onda, respectivamente.

Além das percepções psicofísicas da altura, intensidade e timbre, antes mencionadas, há várias outras delas, muitas das quais de muita importância para o engenheiro e o técnico que militam na área do áudio profissional.

É o caso de nossa faculdade de localizar a direção dos sons, também chamada audição binaural.

Essas outras percepções dependem diretamente da relação entre o ambiente em que estamos e o processamento dinâmico efetuado por nossos ouvidos. Nesses termos, é sempre conveniente analisar separadamente três aspectos, que juntos correspondem aos casos reais de audição: a fonte de som, o ambiente acústico, e o ouvinte.

fonte de som

É aquilo que realmente produz as ondas de som, podendo ser a queda de um objeto no chão, a voz humana, ou qualquer outro. Como vimos, as ondas de som em si são geradas por uma grande variedade de processos mecânicos, e radiadas em determinadas direções.

o ambiente acústico Uma vez produzidas, as ondas de som sofrem a interação do meio em que estão. E então, diversas coisas ocorrem, aliás, como já vimos. Entretanto, creio que para nosso objetivo aqui, é conveniente alinhar as mais importante delas.

Inicialmente, as ondas de som são absorvidas pelo ar. Tanto mais quanto mais elevadas são as frequências.

Embora os sons diretos nos atinjam através de um único passo, todos os sons refletidos nos chegam através de inúmeros caminhos.

Para cada reflexão, o material do qual é feita a superfície refletora determina o quanto de energia é absorvido para cada frequência, e o quanto de energia é refletido, também para cada frequência. Sendo que o resultado de reflexões sucessivas é sempre cumulativo.

Os sons também podem atravessar superfícies.

Finalmente, os efeitos mais complexos como refração e espalhamento acontecem por força de cantos, objetos com suas geometrias e outros tantos.

o ouvinte

Do ponto de vista físico, este é o objeto receptor dos sons. Tipicamente um par de ouvidos. Os ouvintes usam pistas acústicas para interpretar as ondas de som que atingem os ouvidos, daí extraindo informações em tempo real sobre a própria fonte de som, e também, do ambiente acústico.

Nosso cérebro utiliza extensivamente as informações das pistas acústicas apresentadas aos dois ouvidos para compreender muito sobre a fonte de som e sobre o próprio ambiente acústico. Muitos ignoram que os efeitos a seguir discutidos estão absolutamente integrados com nossa percepção auditiva da realidade durante todas as horas do dia e da noite.

E.7.1 Audição Binaural e Localização da Direção dos Sons A audição binaural é uma consequência direta de termos dois ouvidos, e deve-se às pistas acústicas que recebemos para identificar as direções dos sons.

Cada ouvido está sempre processando uma combinação diferente de pistas, mais especificamente as seguintes: • DII, ou Diferença de Intensidade Interaural • DTI, ou Diferença de Tempo Interaural • DFI, ou Diferença de Fase Interaural • DCI, ou Diferença de Complexidade Interaural

E.7.1.1 DII - Diferença de Intensidade Interaural Imagine uma fonte de som situada mais à direita de nossa cabeça, como procura ilustrar a figura E.8.

Não havendo reflexões, os sons dela provenientes serão mais intensos no ouvido direito do que no esquerdo.

Essa diferença de intensidade é a chamada DII, ou Diferença de Intensidade Interaural.

A sombra acústica provocada pela própria cabeça contribui bastante para aumentar a DII, que já resulta das diferentes distâncias que os sons viajam da fonte para cada um dos ouvidos.

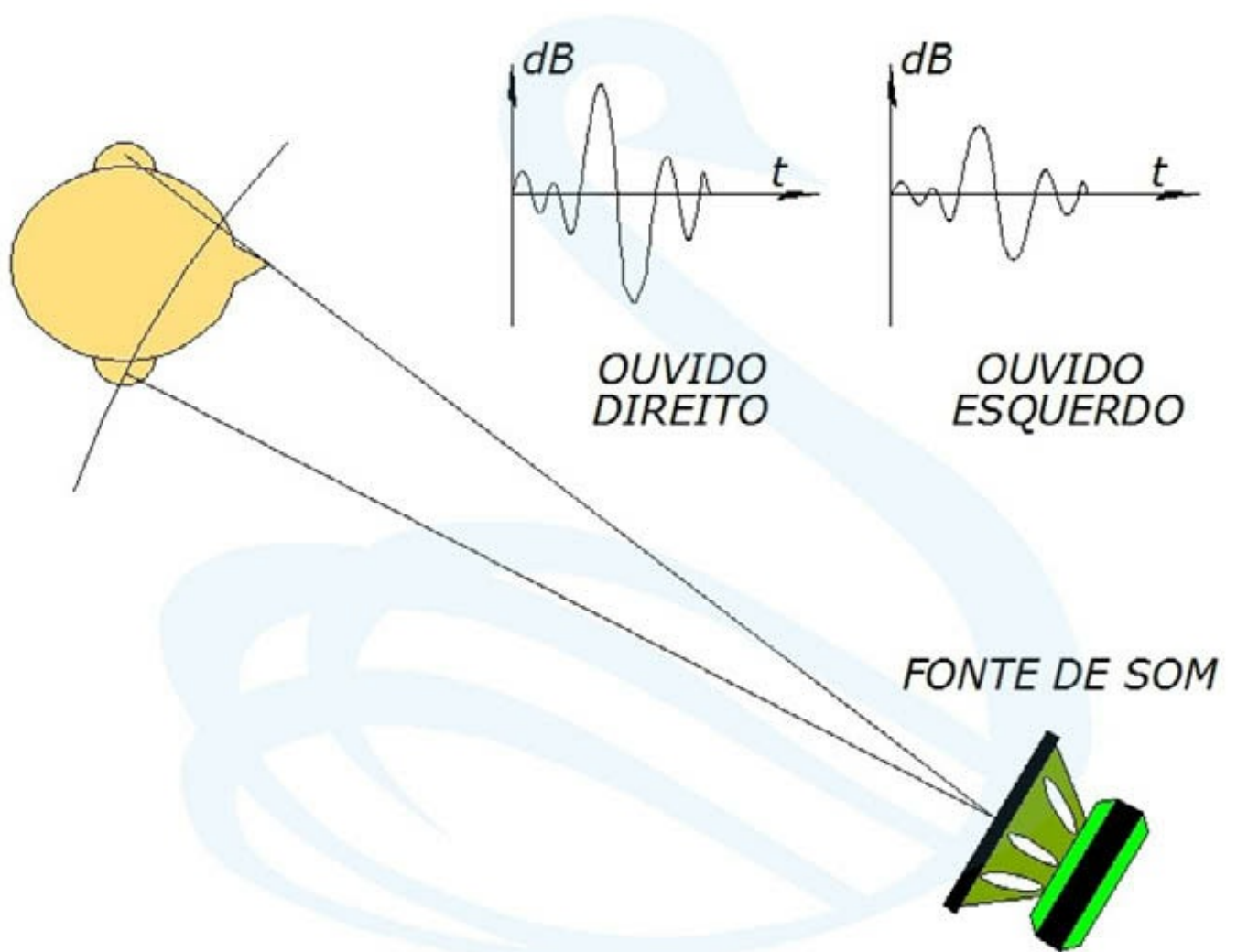


figura E.8 ilustração da DTI acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne E.7.1.2 DTI - Diferença de Tempo Interaural

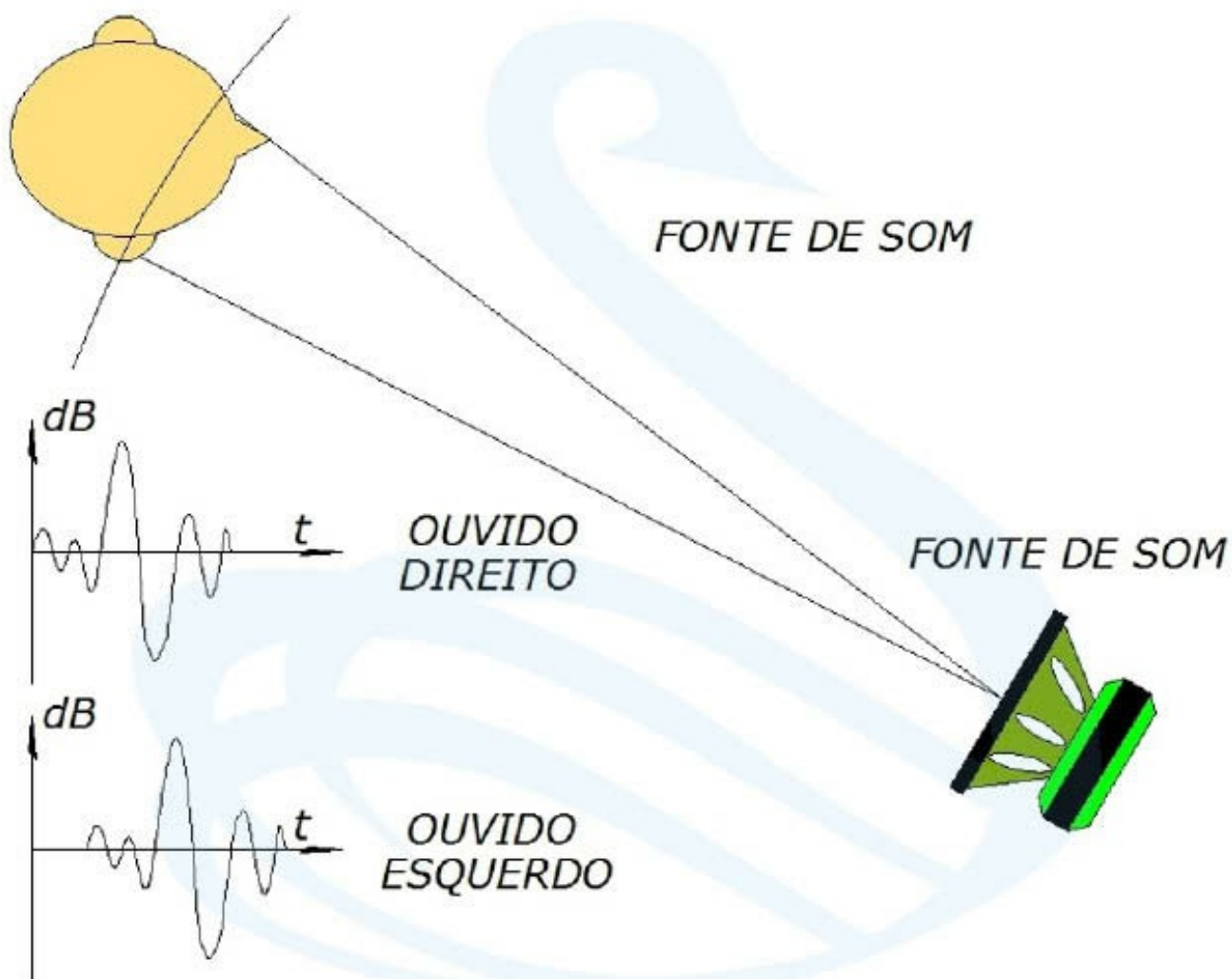


figura E.9 ilustração da DTI acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O efeito da sombra como produzido pela cabeça humana é insignificante em baixas frequências, já que estas contornam com relativa facilidade pequenos obstáculos, como a própria cabeça. Mas a partir de 500 Hz, ele torna-se progressivamente mais atuante.

Se olharmos para a figura E.9 veremos que o ouvido direito recebe os sons produzidos pela fonte antes do ouvido esquerdo. Essa diferença de tempo é a DTI, ou Diferença de Tempo Interaural.

Apenas para que você tenha idéia da capacidade potencial de seus próprios ouvidos, eles estão devidamente habilitados para detectar diferenças entre os momentos de incidência da ordem de apenas 20 a 30 microssegundos ! O que corresponde ao deslocamento de uma fonte sonora relativamente distante de nossa cabeça, de cerca de 2 graus. Ou de desalinhamentos mecânicos ínfimos entre falantes.

Essas condições prevalecem quer estejamos de frente ou de costas para a fonte sonora.

Quando a fonte de som está exatamente à nossa frente, os dois ouvidos recebem exatamente a mesma informação. E é exatamente isso o que nos permite localizar sua origem. Mas apenas de modo aproximado, pois se a fonte for propositadamente elevada mais e mais no espaço, as informações para os dois ouvidos ainda serão as mesmas, e nossa percepção para essa situação variável não é muito desenvolvida. Portanto, temos alguma dificuldade de estabelecer a direção das fontes de som bem a nossa frente, quando ela varia no plano vertical.

Essa característica do ouvido é muito explorada na prática quando do projeto dos sistemas de reforço acústico que usam cluster central, especialmente quando ele é localizado sobre a fonte direta de som, a exemplo da parte mediana de um palco, ou exatamente acima de um púlpito, no qual estará um orador falando.

E.7.1.3 DFI - Diferença de Fase Interaural Além da DTI, mas praticamente uma decorrência dela, há uma diferença de fase entre os dois sinais que atingem os ouvidos. Dependendo da frequência, e da DTI, podem haver cancelamentos ou reforços.

Isto é, para uma dada frequência os dois ouvidos podem estar recebendo compressões, ou rarefações. Entretanto, para outras frequências, um ouvido pode estar recebendo compressão enquanto o outro recebe rarefações, ou vice-versa.

Esses cancelamentos e reforços são virtuais, pois só aconteceriam de fato se atingissem o mesmo ouvido. Como o fenômeno se desenvolve com os dois ouvidos, ele se constitui numa pista adicional, processada pelo cérebro.

Esta pista é de grande importância em baixas frequências, tornando-se relativamente confusa a partir de aproximadamente 2.800 Hz, quando o comprimento de onda das frequências envolvidas é da mesma ordem de grandeza que a distância entre nossos tímpanos.

E.7.1.4 DCI - Diferença de Complexidade Interaural Antes que os sons atinjam nossos tímpanos, eles necessariamente passam pela estrutura do ouvido externo.

Como já vimos antes, o pavilhão auditivo de cada um de nós é como se fosse outra de nossas impressões digitais. É único para ser humano. Com suas dobras próprias e características. E estas têm a propriedade de alterar os sons, reforçando ou atenuando as médias e altas frequências, em graus variáveis.

O quanto os sons são reforçados ou atenuados é algo que, para cada um de nós, depende quase que exclusivamente do ângulo de incidência dos sons. Como sugere a figura E.10.

Já sabemos que a sombra acústica provocada por nossas cabeças contribui para aumentar a DII, mas também devemos saber que ela altera, e bastante, a complexidade sônica como percebida pelos dois ouvidos.

Devemos ter em mente que o efeito da sombra acústica é altamente seletivo. Com efeito, o ouvido sombreado recebe os sinais de altas frequências bastante atenuados, do que resulta uma considerável diferença timbral.

Também vimos que quando a fonte de som está bem a nossa frente, ou bem atrás de nós, não há DII ou DTI. Portanto, o que nos permite determinar se o som é frontal ou traseiro são exatamente as orelhas, com suas dobras, que participam ativamente do processo de percepção.

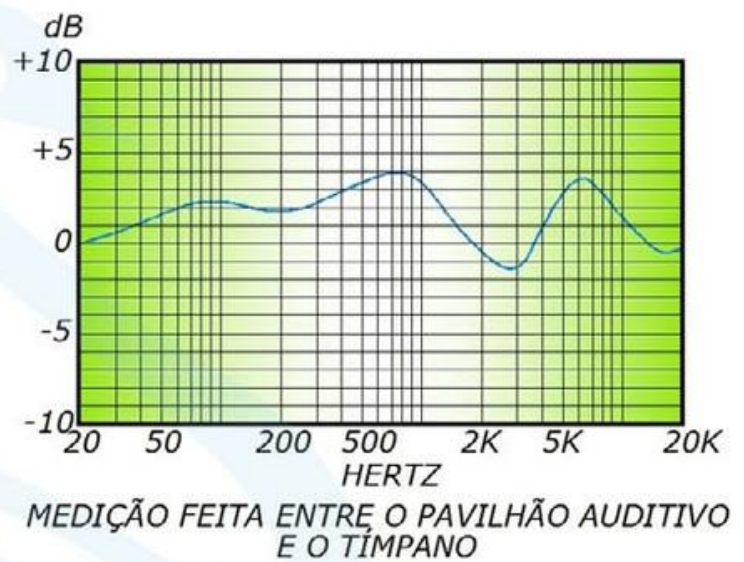
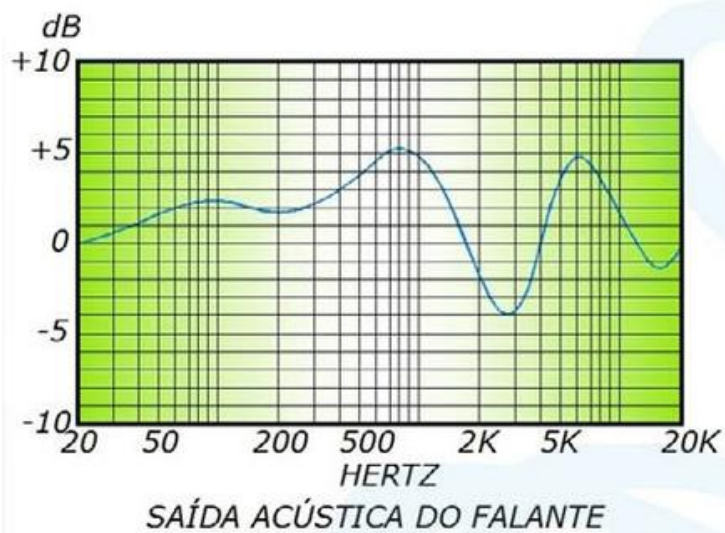


figura E.10 ilustração da DCI acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne E isso faz com que os sons frontais soem bastante diferentes dos traseiros.

Também são as orelhas que apresentam uma contribuição moderada para um mínimo de discernimento que fazemos da origem do som. Por exemplo, o de uma fonte de som frontal, localizada no eixo que passa por nossos dois ouvidos é elevada mais e mais no espaço, quando as DII e DTI são nulas.

Assim, a única pista acústica que nos resta é contribuição dada pelas orelhas, que vimos, é apenas moderada. Daí a dificuldade que temos para estabelecer a direção das fontes de som bem a nossa frente, quando ela varia no plano vertical.

A figura E.11 apresenta o espectro de frequências aproximado do pavilhão auditivo para elevações da fonte de som.

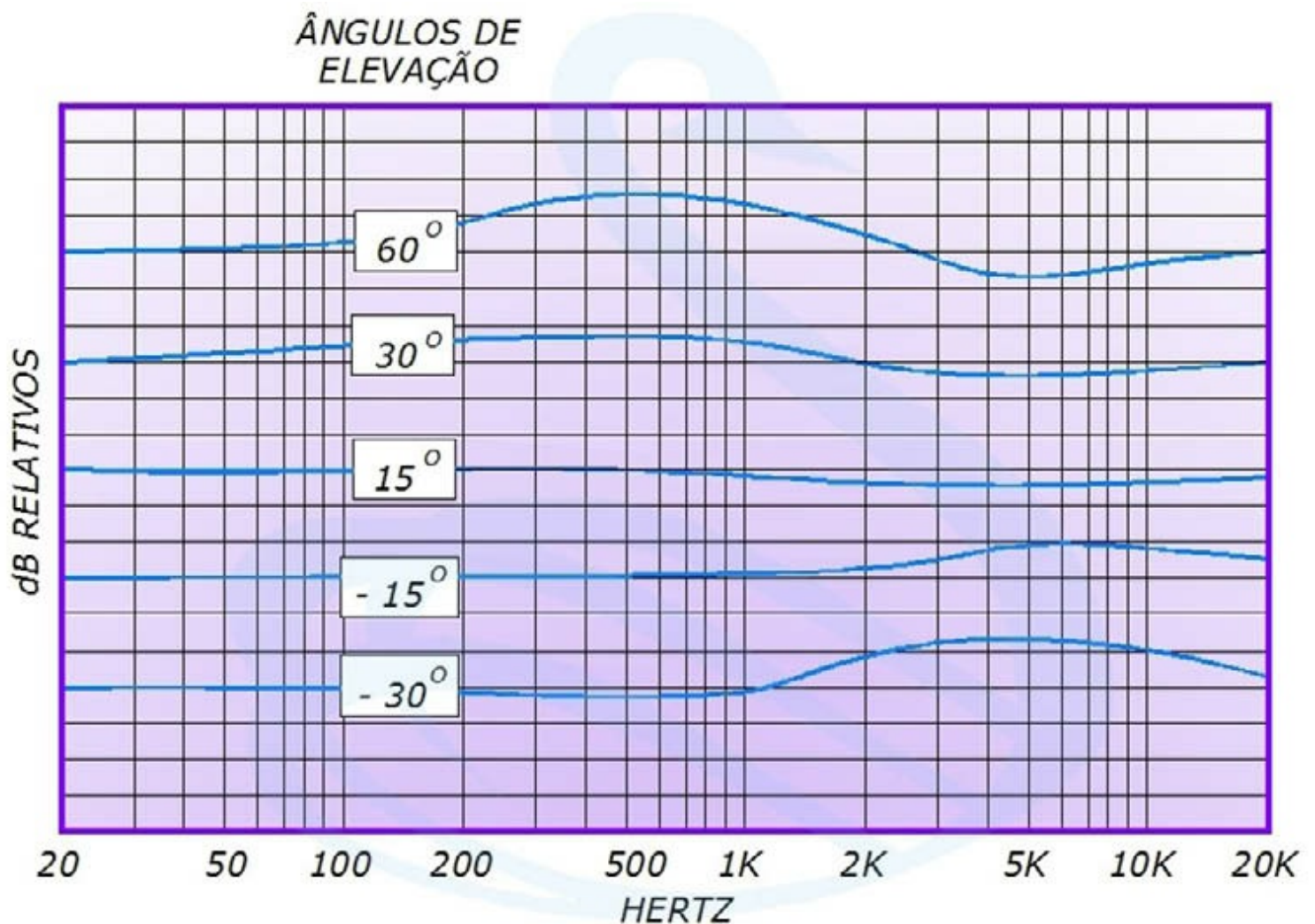


figura E.11 espectro de frequências aproximado do pavilhão auditivo para elevações da fonte de som acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne E.7.1.5 Reflexões ADII e a DTI são pistas acústicas que ocorrem especialmente com sons diretos. Mas as reflexões existentes num recinto fechado também nos chegam aos ouvidos, o que nos possibilita extrair ainda algumas informações.

Quando falamos da sensação de espaço no capítulo 5º, vimos que o segundo ingrediente da sensação de espaço é envelopamento do ouvinte, ou EVO.

Vimos também que podemos ouvir a diferença entre os tempos de chegada e localizações dos sons diretos e os dos diversos passos de reflexões. E que pessoas com audição muito boa, e ouvidos treinados, ouvindo sons diretos e refletidos conseguem localizar exatamente uma parede e dizer se uma porta de um ambiente foi aberta ou fechada.

O material reverberante que ouvimos ainda nos permite dizer se o som é mais próprio de um ambiente que está mais para o acusticamente vivo ou seco.

Isto é, nos possibilita caracterizar acusticamente o ambiente, bem como inferir seu tamanho e formas.

Focando nas reflexões das várias ordens, podemos obter ajuda extra para a localização das fontes de som presentes.

E.7.1.6 Som e Imagem Nosso dia a dia é todo povoado por imagens associadas a sons. Ouvidos e olhos trabalham juntos para identificar simultaneamente os atributos de um evento.

Quando vemos uma janela bater contra seu batente, provocando som, cuja origem é a mesma da janela, interpretamos o fenômeno como natural, onde som e imagem são integrados de forma síncrona.

Por outro lado, quando nos deparamos com situação semelhante, mas o som proveniente da batida da janela parece vir de outra direção, que não a que nossos olhos nos forçam a esperar, ficamos em estado de alerta e confusos. Afinal, é uma experiência que agride a forma de ser natural do evento.

Por essa razão, os sistemas de sonorização de reforço devem levar esse fato em conta, e tanto quanto possível, fazer com que o direcionamento do material reforçado não seja inadequadamente apresentado para os ouvintes. Como o caso de um auditório existente no Playcenter, São Paulo, onde os ursinhos tocam no palco, e o reforço de som é provido por caixas acústicas instaladas próximas à parede do fundo do recinto.

Tive essa experiência há pouco tempo atrás, e recomendo que o caro leitor também a tenha, apenas para constatar como o efeito é desagradável.

E.7.1.7 Outras Pistas Além das pistas discutidas até aqui, valemo-nos de diversos outros expedientes para interpretar os sons. Como exemplo, podem ser citados vários outros sinais visuais e o conhecimento prévio das condições locais.

Assim, a visão da largura efetiva da fonte de som nos ajuda a interpretar a imagem estereofônica. Mais especificamente, a largura do palco, bem como a distância entre o ponto onde estamos e o ponto onde o som direto está sendo produzido.

O conhecimento antecipado das condições locais inclui diversos efeitos acústicos próprios do local em questão, circunstâncias peculiares das fontes de som, ruídos típicos do ambiente, e assim por diante.

E.7.1.8 Rotação da Cabeça As pistas acústicas se alteram consideravelmente quando movemos nossa cabeças para um ou para outro lado. É por isso que frequentemente movemos nossas cabeças para localizar um determinado som, ou mesmo para detectá-lo. Também usamos esse expediente para tirar conclusões sobre pistas que nos parecem confusas.

Por exemplo, se estamos ouvindo um som de muito baixa frequência, e não podemos detectar sua localização, imaginando que ele pode estar exatamente atrás de nós ou à nossa frente, movemos um pouquinho a cabeça para a esquerda, para determinar se ele está vindo da direita, condição que nos informará que a localização é a frontal. Caso contrário, saberemos que a localização é a traseira.

E.7.1.9 Tons Puros e Formas de Onda Complexas Experiências mostram que, definitivamente,

nossa habilidade de localização dos sons é sempre mais eficaz para sons complexos do que para tons puros.

E.7.2 Efeito Precedência Você certamente já assistiu a um daqueles filmes bem antigos. Nos quais a dinâmica da imagem não nos parece contínua como na vida real, mas discreta, ocorrendo numa sucessão de quadros consecutivos, individualmente perceptíveis. Isso acontece porque a quantidade de quadros exibidos por segundo não é suficiente para que tenhamos a mesma percepção que nos causa um filme moderno, exibidos com mais quadros por segundo. No cinema ou na televisão.

Mecanismo semelhante acontece com os sons. Se sons iguais nos são apresentados muito afastados no tempo, podemos perceber cada um deles individualmente. Mas se eles nos são apresentados muito próximos no tempo, nossos ouvidos os perceberão como um som contínuo, sem interrupções.

No primeiro caso, quando ouvimos os dois sons distintamente, é como se o segundo fosse o eco do primeiro.

No segundo caso, a fusão dos dois sons deve-se à nossa capacidade de memorização acústica.

O limite dessa “memória” varia consideravelmente de indivíduo para indivíduo. Mas em média está por volta de 40 milissegundos, ao que corresponde pouco menos de 14,0 metros quando a velocidade do som é 340 m/s.

Essa característica, denominada efeito precedência, é importantíssima em projetos de acústica e de eletroacústica, principalmente em sonorização profissional de grandes ambientes. Por não levá-la em conta, uma incrível quantidade de sonorizações “profissionais” carece dos mínimos requisitos de qualidade, levando a sons confusos, e por vezes, até mesmo pouco ou nada inteligíveis.

O teste do efeito precedência pode ser feito por qualquer pessoa. Basta que fiquemos de frente para uma grande superfície, como um muro alto, ou a lateral de um prédio, inicialmente a uma distância de, digamos, 15 metros. Batemos palma, e ouvimos o som direto proveniente do encontro de nossas mãos, e o som refletido na superfície, que teria viajado 30 metros, sendo 15 de ida e 15 de volta. Devemos estar ouvindo os dois sons separadamente.

Continuamos com as palmas, reduzindo nossa distância da superfície. Até que ouçamos os dois sons fundidos num só. Quando isso acontecer, teremos determinado a distância correspondente ao efeito precedência para nossos ouvidos.

Naturalmente, essa distância será o dobro da distância física que nos separa da parede, já que o som deve viajar até ela e voltar até nossos ouvidos.

E.7.3 Efeito Haas A Figura 6.32 ilustra o arranjo que se prepara quando se quer efetuar a experiência capaz de demonstrar o efeito Haas, discutido naquela parte do capítulo 6.

Ele se resume na mudança aparente da localização da fonte sonora pela alteração da combinação dos níveis de intensidade das duas fontes, e atraso de tempo de uma em relação a outra.

O gráfico da Figura 6.37, ou critério Doak & Bolt de atraso versus nível, está muito relacionado com o efeito Haas.

Como a característica discutida no item E.7.2 anterior, esta também é importantíssima para projetos acústica e de eletroacústica, principalmente em sonorização profissional de grandes ambientes.

Ela resulta não só do efeito precedência, mas também do mascaramento acústico, que veremos a seguir.

E.7.4 Mascaramento Acústico Todos vocês já notaram a dificuldade que temos para ouvir uma voz de intensidade normal num ambiente muito barulhento. Isso acontece porque a voz que queremos ouvir acaba “mascarada” pelo barulho.

Os passarinhos cantam e as folhagens das árvores farfalham durante o dia, mas só percebemos esses sons de madrugada, porque eles não são mascarados pelo maior nível de ruído ambiental que prevalece durante o dia.

Experiências sobre mascaramento mostram que o efeito é mais intenso quando a frequência do som principal é mais próxima da do som que a máscara. Isso significa que um tom de 5.000 Hz muito intenso terá grande efeito de mascaramento sobre outro de 4.950 Hz, mas praticamente não terá qualquer efeito sobre um tom de 200 Hz.

E.7.5 Discriminação Auditiva Você pode fazer esta experiência agora mesmo.

Ponha em seu som um bom CD de orquestra sinfônica. Concentre toda sua atenção nos violinos. Após alguns segundos, transfira a atenção para os clarinetes. E depois, para a percussão.

Ponha agora um disco de um quarteto vocal masculino. Concentre-se no tenor, depois no barítono, e depois no baixo.

Você leu anteriormente que todos os sons chegam simultaneamente à membrana timpânica, passam pelo tímpano, atingem o ouvido interno e acabam processados pelo cérebro.

Com isso, e não obstante a forma de onda ainda seja a mesma, dessas experiências que sugeri você vai constatar que nossos ouvidos são capazes de discriminar os sons que queremos ouvir dos demais.

Isso é, de focar nossa atenção para um particular som entre todos os sons complexos que são reproduzidos simultaneamente. E ainda, de ouvi-lo separadamente. Quase como ele se fosse o único a ser reproduzido.

Essa é uma característica notável de nossos ouvidos.

E.8 O QUE PODEMOS OUVIR

E.8.1 Sensibilidade Auditiva Versus Níveis de Pressão Sonora As curvas da figura E.12 são contornos de mesma audibilidade.

Da mesma espécie que havíamos visto antes nas curvas semelhantes do capítulo 2.

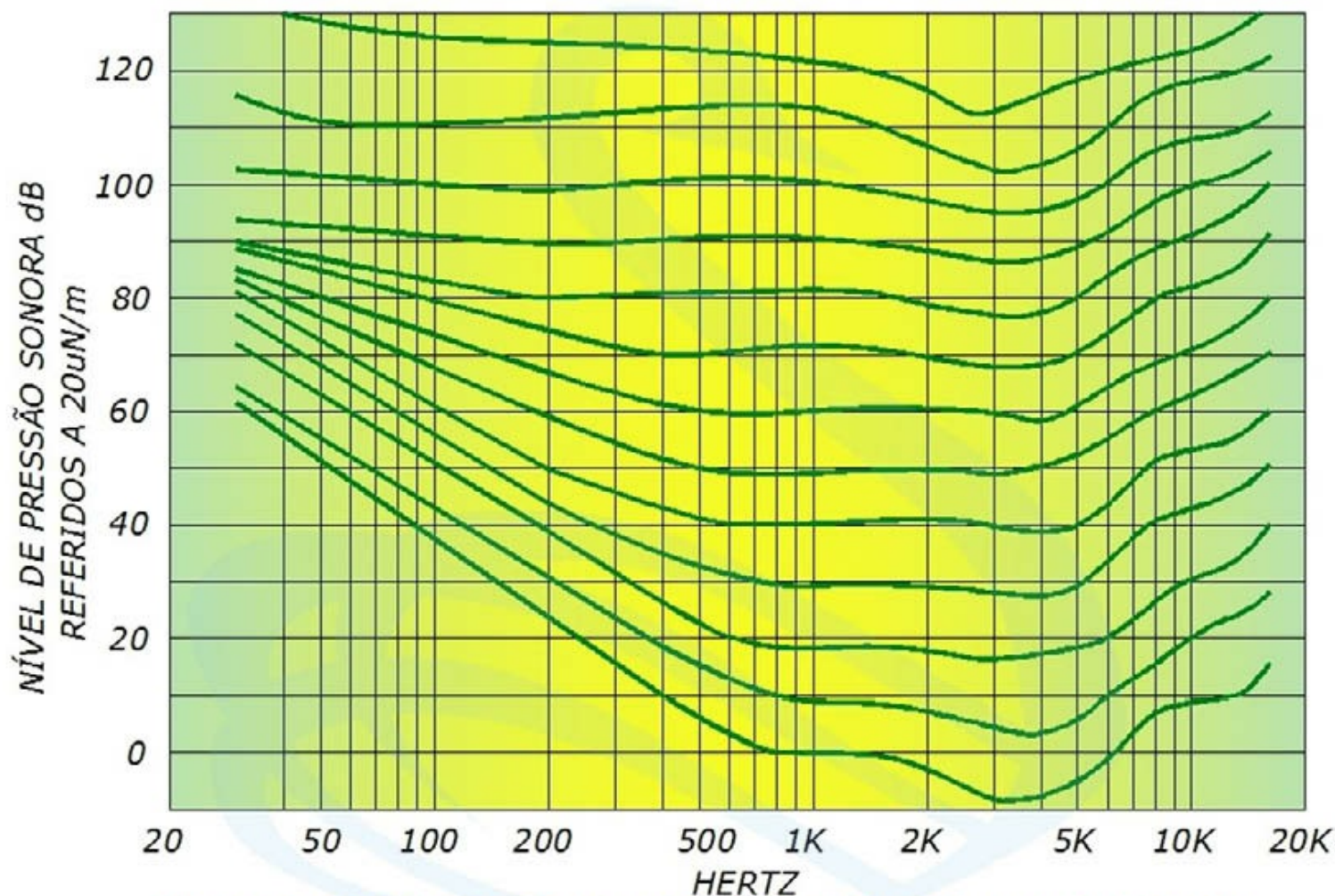
A diferença entre essas curvas é que elas foram levantadas em épocas distintas, por cientistas diferentes, em lugares afastados, e por processos ligeiramente diferenciados.

Se observarmos com atenção essas figuras vamos verificar que elas nos revelam muito sobre o que podemos ouvir.

Olhando para a curva inferior da família de curvas da figura E.12 estaremos vendo a representação do limiar de audição de nossos ouvidos. Os seja, quais são as pressões sonoras mais baixas que ainda podemos detectar.

Para que se tenha uma noção do que são esses sons, basta dizer que eles correspondem ao encontro das partículas de ar contra nossos tímpanos. E de fato não podemos detectar nada com pressão sonora inferior a isso. Mas se considerarmos que esses são os ruídos mais suaves que podem ser encontrados na natureza, creio que não precisamos mesmo de ouvidos mais sensíveis do que isso. Milagre? Adaptação genética? Acidente? Obra da natureza? Projeto Divino? Neste caso específico, caro leitor, peço-lhe que tire suas próprias conclusões.

A figura E.12 também nos mostra os limiares de desconforto auditivo e de dor, dos quais já falamos anteriormente.



SENSIBILIDADE DO OUVIDO HUMANO

figura E.12 contornos de mesma audibilidade, levantadas por Fletcher e Munson, nos Estados Unidos acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Fica implícito na figura que podemos (só alguns de nós) ouvir sons com frequências entre 20 Hz e 20 kHz, que por isso mesmo é o chamado espectro de áudio.

Entre as informações mais importantes que a figura deixa transparecer está a sensibilidade dos ouvidos humanos, variando de acordo com os diferentes níveis de pressão sonora, e de acordo com a frequência. Coisa que também já havíamos discutido antes.

E.8.1.1 Phons

A figura E.12 mostra claramente que a audibilidade de um som, ou a intensidade de nossa sensação ao ouvi-lo, depende não só de seu nível de pressão sonora, mas também de seu espectro de frequências.

Também podemos nos referir à audibilidade utilizando outra característica sônica subjetiva, que é o nível de audibilidade. Trata-se apenas da pressão sonora de um tom puro numa dada frequência.

Sabemos que todas as curvas da figura E.12 são construídas a partir de um tom puro de 1.000 Hz, tomado como referência. E que, então, ajusta-se a pressão sonora de todos os demais tons de outras frequências, até que, por julgamento subjetivo, se tenha a mesma audibilidade que se tinha com a referência.

Por definição, o nível de audibilidade de qualquer som, expresso em phons, é

numericamente igual ao nível de pressão sonora desse mesmo som, na frequência de 1.000 Hz.

Por exemplo, a figura E.12 nos mostra que um tom de 500 Hz, com nível de pressão sonora igual a 32 L_p , e outro de 50 Hz, com nível de pressão sonora igual a 64 L_p , ambos nos causam o mesmo nível de audibilidade. Que, pela definição mencionada, é 30 phons, uma vez que a curva que contém esses pares frequência-pressão sonora, em 1.000 Hz, apresenta a pressão sonora de 30 L_p .

A unidade de nível de audibilidade phon é útil em diversas circunstâncias, mas nos diz muito pouco sobre como reagem nossos ouvidos em termos de audibilidade.

E.8.1.2 Sones

Disse antes que quando o nível de pressão sonora aumenta 10 dB, temos a sensação da audibilidade dobrar. E que, inversamente, quando o nível de pressão sonora cai 10 dB, temos a impressão de metade da audibilidade anterior. Essas figuras são consensuais, porque obtidas através de centenas de experiências conduzidas para avaliar a audibilidade versus nível de pressão sonora. O efeito é particularmente verdadeiro na região em torno de 1.000 Hz.

Assim, em 1.947 o ISO adotou uma nova escala, denominada escala sone. Novamente, por definição, 1 sone é o nível de audibilidade de qualquer som com nível de audibilidade igual a 40 phons.

A idéia com os sones é que pudéssemos estimar a audibilidade de maneira mais fácil. Por exemplo, 2 sones deveria significar o dobro de audibilidade, em comparação com 1 sone. Assim, como 0,5 sone deveria significar a metade da audibilidade, em comparação com 1 sone.

A relação entre sones e phons pode ser matematicamente expressa por

$$S = 2^{\left[\frac{P-40}{10} \right]} \quad (E.1)$$

Do mesmo modo,

$$P = 10 \frac{\ln S}{\ln 2} + 40 \quad (E.2)$$

nestas duas expressões

- P é o nível de audibilidade em phons, e
 - S o nível de audibilidade em sones
- Ambas se aplicam a tons puros e bandas críticas de sons de espectro amplo.

Suponha então que tenhamos dentro da mesma banda crítica dois tons de 80 phons, e queiramos determinar o nível resultante em sones.

Inicialmente, calculamos a resultante em phons, como uma simples soma de decibéis

$$P_R = 10 \log \left[10^{\frac{80}{10}} + 10^{\frac{80}{10}} \right] = 83 \text{ phons}$$

A seguir, aplicamos a expressão E.1:

$$S = 2^{\left[\frac{83-40}{10} \right]} = 19,7 \text{ sones}$$

Sones e phons podem ser relacionados graficamente.

Nos itens seguintes vamos analisar algumas informações novas, mas nem por isso menos importantes para a engenharia de áudio.

E.8.2 Audibilidade, Largura de Banda e Bandas Críticas Na maioria de nossas análises sobre as propriedades dos ouvidos utilizamos uma só frequência.

O que, embora útil para nos dar uma série de informações básicas, contraria os casos reais. E quando pensamos em largura de banda de ruído vamos constatar coisas muito interessantes.

Como por exemplo, que o ruído de um jato nos parece muito mais intenso do que um tom puro com mesmo nível de pressão sonora. Do que podemos concluir que a largura de banda do ruído tem influência sobre a audibilidade dos sons.

A figura E.13 representa três sons diferentes, todos centrados em 1 kHz, mas cada qual com sua própria largura de banda. Digamos, 100 Hz para o som da esquerda, 160 Hz para o central, e 200 Hz para o da direita. OK?

Os três possuem a mesma intensidade, e também, o mesmo nível de pressão sonora. Neste ponto devo fazer um esclarecimento. As alturas dos três desenhos não são iguais. Apenas porque essas alturas significam a intensidade de som por Hz. Desse modo, as áreas dos três exemplos devem ser iguais. E são. Quem quiser fazer a experiência verá que esses três sons não nos soam igualmente. Isto é, não temos a mesma percepção de intensidade dos três.

O gráfico abaixo dos exemplos nos ajuda a entender o porque disso. O gráfico mostra como se comporta um ruído com pressão sonora de 60,0 L_p, de acordo com a variação de sua largura de banda, sempre centrada em 1 kHz.

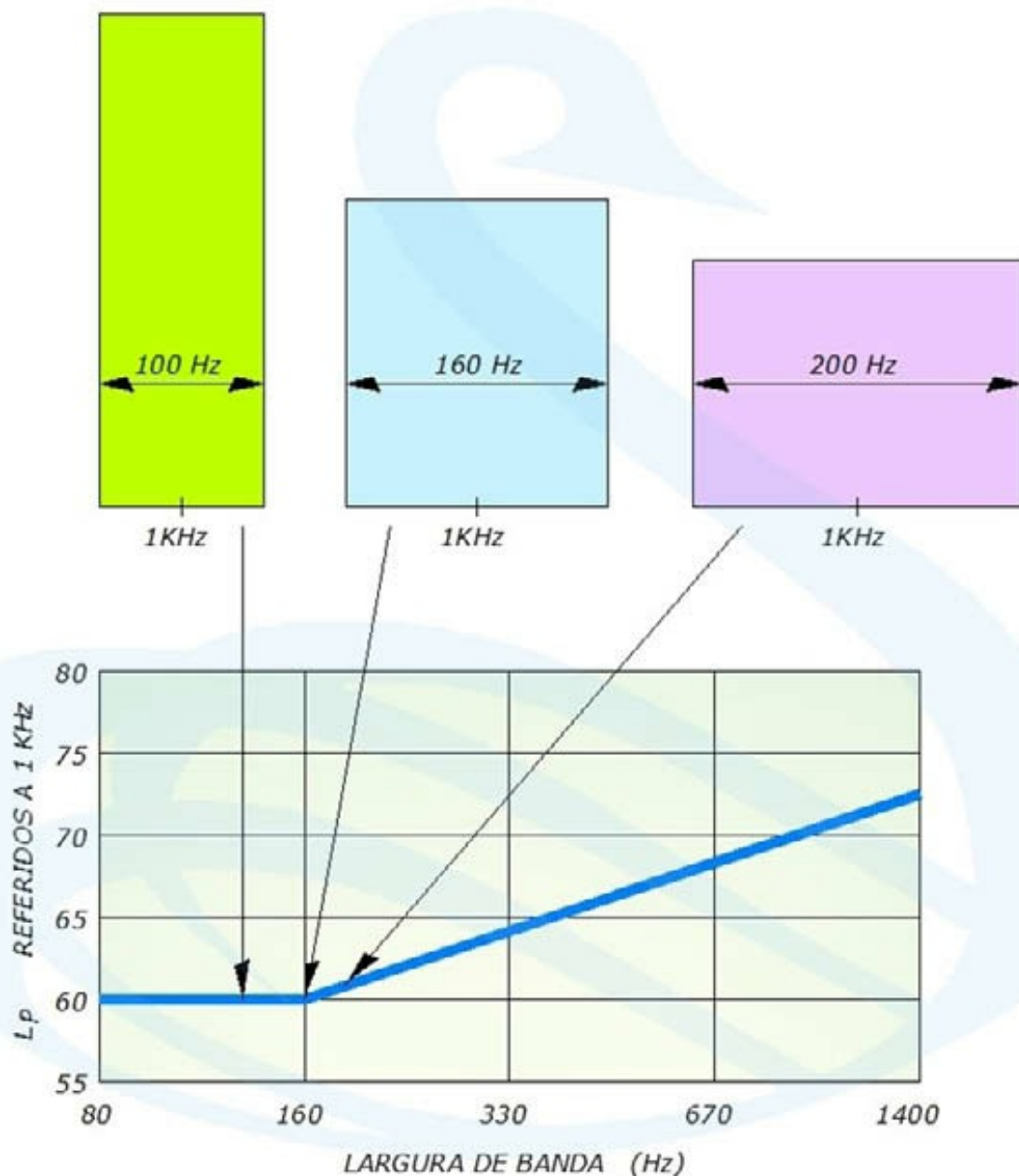


figura E.13 três exemplos de ruídos com mesma intensidade e mesmo nível de pressão sonora, mas com diferentes larguras de banda acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A curva foi levantada experimentalmente. Vemos que para larguras de banda de até 160 Hz, os ruídos nos parecem ter mesmo intensidade de 60,0 L_p. Mas quando a largura de banda ultrapassa os 160 Hz, passamos a julgar os ruídos mais intensos do que eles realmente são. Tanto mais quanto maior é a largura de banda. Porque a alteração quando a largura de banda é exatamente 160 Hz?

A resposta é que a largura de 160 Hz, centrada em 1 kHz, é a banda crítica de nossos ouvidos.

Assim, se um ruído rosa é reproduzido juntamente com um tom de 1 kHz para um painel de ouvintes, apenas os ruídos contidos na banda de 160 Hz centrada em 1 kHz serão eficazes para mascarar o tom puro. O que significa que os ouvidos humanos trabalham com um analisador formado por filtros passa bandas dispostos ao longo do espectro de áudio.

Enquanto os filtros de um analisador convencional de áudio de 1/3 de oitava possui 30 filtros cujas respostas se cruzam nos pontos - 3,0 dB, os filtros dos ouvidos humanos são continuamente móveis ao longo do espectro. Ao que vale dizer, se escolhermos um tom qualquer, de qualquer frequência, nossos ouvidos providenciarão para que esta seja a

frequência central de um de seus próprios filtros.

Anos e anos de pesquisas nesse assunto em particular resultaram em apenas modestos consensos a respeito de como os filtros das bandas críticas fazem para se ajustar a quaisquer frequências que sejam reproduzidas.

A função clássica da banda crítica é o que nos mostra a curva cheia da figura E.14. Esta curva não é universalmente aceita pela comunidade científica do áudio e da acústica. Há algumas questões sem resposta sobre a acuidade da curva abaixo de 500 Hz.

Muitos pesquisadores entendem que utilizar filtros tradicionais de 1/3 de oitava em medições é algo positivo porque as larguras de banda desses filtros se comportam aproximadamente como as dos ouvidos humanos. As larguras de banda dos filtros de 1/3 de oitava aparecem com curva tracejada na figura E.14, o que fiz para efeito de comparação com as dos ouvidos humanos.

As larguras de banda dos filtros de 1/3 de oitava correspondem a 23.2 % da respectiva frequência central, enquanto as larguras de banda dos filtros do ouvido humano correspondem a cerca de 17 % da frequência central para a qual estão “sintonizados”.

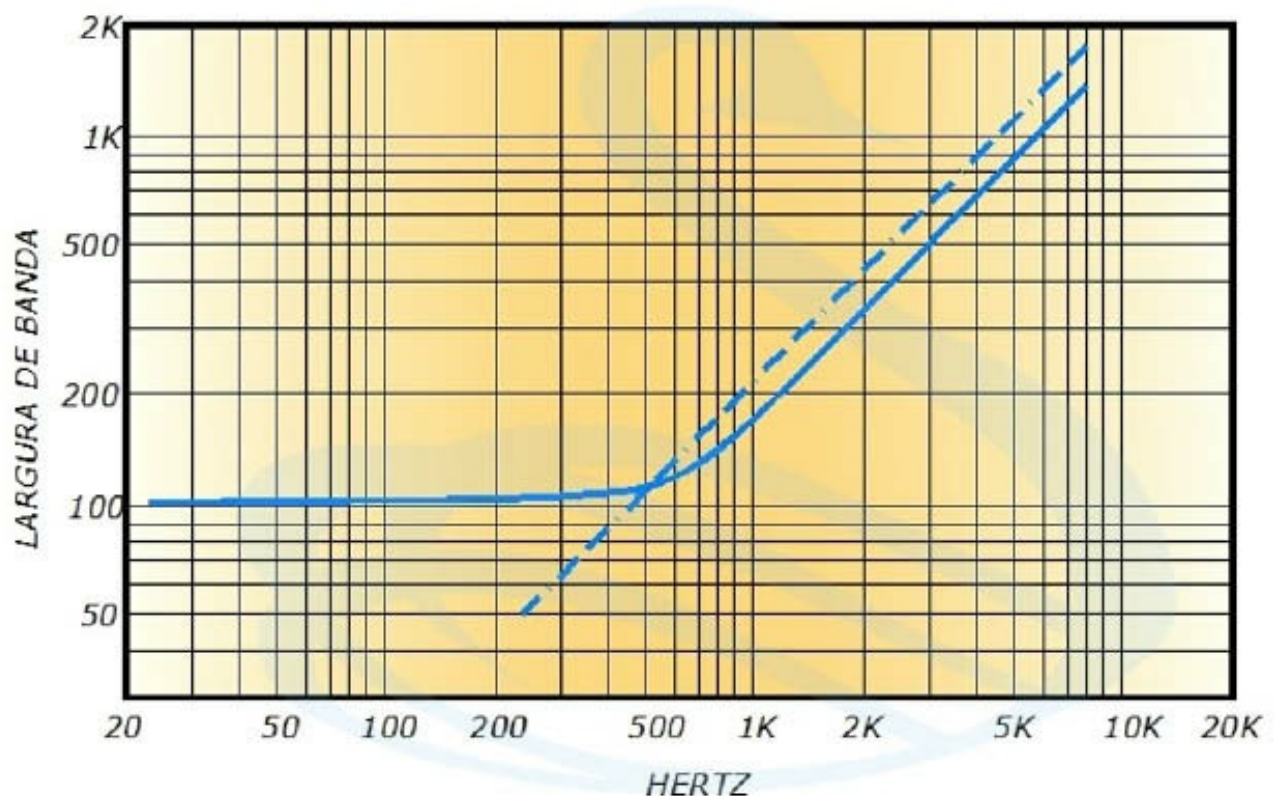


figura E.14 largura de banda crítica clássica (curva cheia) e largura de banda de filtros de 1/3 de oitava (curva tracejada) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne E.8.3 Os Impulsos e Como os Ouvimos Esta é outra área de grande interesse prático, muitas vezes desconsiderada pelos engenheiros de áudio.

Sua importância deve ser imediatamente aparente porque tanto a fala quanto as músicas são povoadas por impulsos e transientes. De vários tipos e durações.

Um tom qualquer, digamos 2 kHz, reproduzido por 2 segundos nos parecerá como um tom de 2 kHz. Mas o mesmo tom reproduzido com duração de alguns poucos milissegundos nos soará mais como um “clique”. Além disso, a duração do transiente influencia muito nossa

percepção de audibilidade.

Assim, quanto mais curta é a duração do som, menor a audibilidade que ele nos causa.

A figura E.15 oferece os subsídios necessários.

Para durações iguais ou superiores a 200 milissegundos, percebemos os sons normalmente, com suas pressões sonoras próprias, sem alterações. Mas para durações inferiores, nossa percepção de audibilidade vai sendo gradativamente reduzida.

Por isso, se compararmos dois tons de mesma frequência e com mesmo nível de pressão sonora, um reproduzido durante 300 milissegundos, e outro reproduzido por apenas 5 milissegundos, este nos parecerá aproximadamente 13,0 dB abaixo daquele.

Como nos mostra a curva da figura E.15, que também serve para evidenciar as diferenças entre ruídos de espectro amplo e tons puros, tal como vimos nos parágrafos iniciais do item E.8.2.

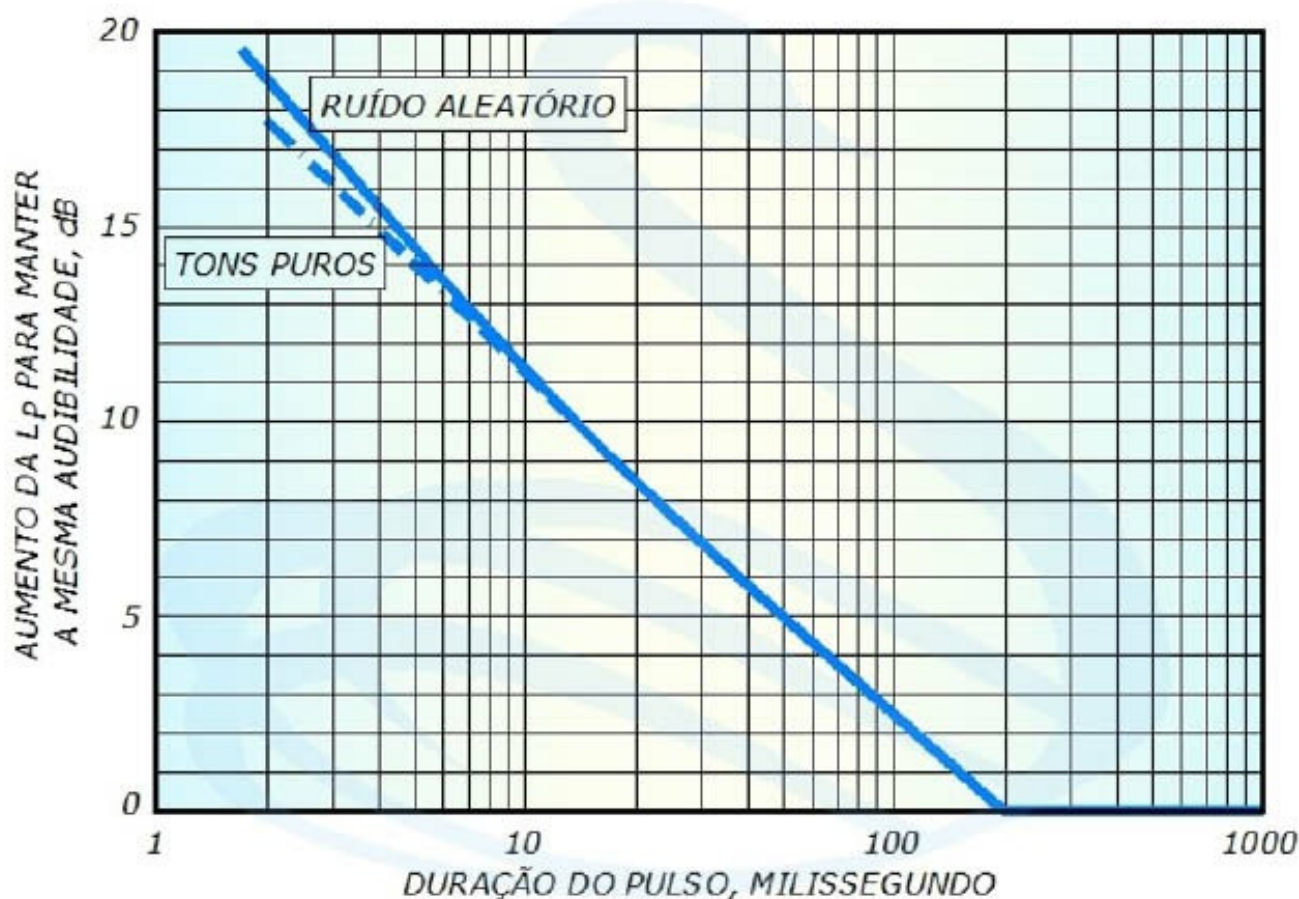


figura E.15 duração dos pulsos e como percebemos suas intensidades acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O que a curva da figura E.15 parece querer nos mostrar é que o tempo de integração de nossos ouvidos está na região entre 100 e 200 milissegundos.

A aplicação deste conceito tem muito a ver com a inteligibilidade da palavra. Por exemplo, termos como gato, gado, galo, gabo e gago, apresentam consoantes iniciais que correspondem a transientes com durações típicas de 15 milissegundos. E eles diferem apenas nas consoantes finais. Que são não só de nível muito mais baixo que os transientes iniciais, mas além disso, de duração também mais curta.

Se olharmos para a figura E.15 com isso em mente, podemos ter uma idéia do que pode ser

o grau de dificuldade de se obter uma boa inteligibilidade em locais muito ruidosos.

E.9 EDUCAÇÃO DO OUVIDO

É verdade que uns preferem Shankar, outros Chopin, e que uns gostam de um determinado balanço tonal, outros de balanços bem diferentes. Até aqui estamos falando de gosto.

Independente disso, os ouvidos humanos podem ser educados. É apenas questão de treinamento. De anos, de décadas. Então, como resultado de constantes audições feitas com aguçado espírito crítico, desenvolve-se a habilidade de detectar pontos fracos na reprodução sonora, e/ou nas características acústicas das salas.

Há autores que chegam a afirmar que pode haver tanta diferença entre os ouvidos treinados de um homem cuja profissão se relacione com o áudio, e os de um entusiasta do som, quanto entre os deste e os de um jovem que caminha pela praia com o rádio transistorizado preso à orelha.

De fato, pessoas com ouvidos muito treinados fazendo a experiência da discriminação com orquestras de 80 ou mais figuras podem “isolar” um dos violinos de todos os demais, e até mesmo chegar a “isolar” as várias frequências harmônicas da fundamental !!

Tudo isso também sugere que a “memória auditiva” pode ser treinada.

Há um curso superior apenas para treinamento auditivo, realizado por uma universidade na Polônia.

O curso completo leva a bagatela de 6 anos, durante os quais os alunos são treinados em vários aspectos, fazendo inúmeras experiências psicoacústicas.

Por oportuno, menciono o EASY - Programa de Treinamento Auditivo, que preparei em forma de CD's para pessoas que queiram desenvolver seu próprio sentido da audição.

E.10 ALAVANCAGEM E DEFESA DO OUVIDO

A potência produzida pela voz humana é tão débil que, para acender uma simples lâmpada de 40 watts, seria preciso utilizar toda a energia produzida a 1 metro das bocas de um milhão de pessoas falando simultaneamente.

Então, como é possível para o ouvido captar sons no limiar de audibilidade?

A mãe natureza é sábia, e fez com que o meato auditivo externo dobrasse a pressão que recebe da orelha, antes de repassá-la para a membrana timpânica. Os ossículos, por sua vez, têm um efeito amplificador de três vezes, graças à alavancagem mecânica que praticam. E, finalmente, a relação entre as áreas da janela oval e da membrana timpânica promove um aumento de pressão superior a 30 vezes. Da combinação desses efeitos há um fator de alavancagem mecânico da ordem de 200 vezes!

Por outro lado, o ouvido humano também tem seu esquema de defesa contra sons de elevada intensidade. Os três ossículos são sustentados por músculos timpânicos, que acrescentam força à cadeia.

Além disso, eles funcionam como amortecedores, evitando deslocamentos excessivos de amplitude na cadeia dos ossículos, protegendo o ouvido interno contra estímulos acústicos excessivos.

Naturalmente esse dispositivo também apresenta limitações.

E.11 ALGUMAS LIMITAÇÕES DE NOSSOS OUVIDOS

E.11.1 Geração de Harmônicas Assim como equipamentos produzem distorção harmônica, nossos ouvidos também o fazem.

Trata-se de um fenômeno que se assemelha em tudo a uma forma de distorção não linear. Assim, estamos sujeitos a ouvir um som original, composto de uma só frequência, que é a fundamental, mas acabamos por ouvir também harmônicas de várias ordens.

Essa limitação de nossos ouvidos, que ocorre quando ouvimos quaisquer tons puros, já se manifesta a níveis moderados de pressão sonora.

O fenômeno decorre de várias causas, sendo as principais o trabalho do ouvido interno e a vibração simultânea de nossos tímpanos na frequência fundamental, e nas harmônicas, tal como ocorre com as cordas de um violão.

E.11.2 Combinação de Tons A geração de harmônicas não é a única forma de distorção não linear a que estão sujeitos nossos ouvidos. Uma outra distorção, bastante importante do ponto de vista auditivo, é a distorção por intermodulação.

Quando ouvimos dois tons de alta intensidade, e diferença de frequência superior a 50 Hz, podemos também ouvir outros tons além dos dois originais. Esses tons espúrios que ouvimos são tons combinados, e que representam principalmente somas e subtrações.

Os do tipo soma aparecem na forma de adição simples dos tons originais, e seus múltiplos. O mesmo ocorre com os tons diferença.

Se as frequências dos tons originais forem e , e os múltiplos M e N , respectivamente, então podemos escrever:

$$\text{SOMA} = M.F_1 + M.F_2$$

$$\text{DIFERENÇA} = M.F_1 - M.F_2$$

Quando M e N são ambos iguais à unidade, os tons soma e diferença são de primeira

ordem, que são os mais intensos e mais facilmente perceptíveis.

Os tons diferença são mais audíveis quando sua frequência está bem abaixo da dos tons subtraídos.

Por exemplo, dados dois tons, um de 2 kHz e outro de 2,5 kHz, a diferença será 500 Hz. Por estar bem abaixo do primeiro tom, esta diferença será prontamente reconhecida. O que não aconteceria com dois tons de 1 kHz e de 2,5 kHz, cuja diferença é de 1,5 kHz.

Da mesma forma, quando a frequência do tom diferença se aproxima da frequência de qualquer dos tons originais, o efeito não é percebido.

Essa maior ou menor propensão para o reconhecimento dos tons espúrios deve-se às condições que regem o mascaramento acústico.

Percebe-se que a geração de combinação de tons é uma séria limitação de nossos ouvidos, e outra forma de introdução de distorção não linear.

Experiências mostram claramente que este fenômeno pode ser quase que totalmente debitado ao ouvido interno.

E.11.3 Beats

Se ouvimos dois tons de intensidades aproximadas, e pequenas diferenças de frequência, o resultado é a audição conjunta de uma variação periódica peculiar, que se manifesta sobre a audibilidade. Seu nome técnico é beats.

A taxa de beats (não confundir com bits) é igual à diferença entre as frequências dos dois tons. Por exemplo, se eles forem 1.000 e 1.005 Hz, ouviremos 5 beats por segundo. Então, fica definida a taxa de beats igual a 5 Hz.

Se fizermos esta experiência partindo de 0 beats, veremos que inicialmente há uma sequência de variações de intensidade, alternadamente para maior e para menor. Com o aumento da taxa de beats, esse efeito torna-se mais vigoroso. A seguir, o efeito passa a ser o de uma aspereza bem desagradável.

Que a seguir é progressivamente reduzido, até desaparecer.

O fenômeno evidencia uma limitação da capacidade de análise de nossos ouvidos. Os beats devem-se às mudanças periódicas entre o valor máximo da soma dos sons, o que ocorre quando eles estão em fase, e um mínimo, que se verifica quando eles estão em oposição de fases.

Este é o momento certo para outra observação. Se os sinais de nosso exemplo acima fossem 25.000 e 25.025 Hz, teríamos uma taxa de beats de 25 Hz. Nitidamente reconhecível. Quando vemos amplificadores de áudio com capacidade de reproduzir até 300 kHz, muitos acham que isso absolutamente não é importante. E talvez não seja mesmo, se apenas

compararmos o que podemos ouvir com sua resposta de frequências. Mas é bom estarmos atentos. Seus subprodutos, como eventuais taxas de beats, poderão ser perfeitamente audíveis !!!

E.11.4 Outras Limitações Infelizmente nossos ouvidos ainda estão sujeitos a outras limitações. Destas, as mais graves devem-se a peculiaridades anatômicas que todos apresentamos. A mais comum delas é a diferença de acuidade auditiva verificada entre os dois ouvidos, o que limita a audição binaural.

E.12 ESTUDOS E PERSPECTIVAS

Um dos grandes centros de pesquisa é o AT&T Research Center. Lá já se chegou à conclusão que o mecanismo aural do ser humano rejeita algumas das informações que recebe durante o processo de audição. E agora se procura aprofundar as pesquisas sobre os detalhes dessas informações rejeitadas.

Experiências mostraram que, a níveis moderados de pressão sonora, podemos detectar variações de frequência de ordem de 3 Hz, e não de 1 ou 2 Hz, como se pensou por muito tempo. Isso se aplica a tons de até 1.000 Hz, aproximadamente. Acima disso, a menor mudança que podemos detectar em frequência é um percentual constante da própria frequência, cuja valor é algo em torno de um semitom da escala musical.

Os pesquisadores revelam que, de forma otimista, há aproximadamente 280 níveis detectáveis na intensidade dos sons, e cerca de 1.400 na frequência.

Também há outros detalhes sônicos que chegam à cóclea mas não são processados, ou seja, não são transformados em impulsos neuronais. Portanto, não chegam ao sistema nervoso central, entrando apenas indiretamente no processo de audição.

Outro aspecto fundamental é o mascaramento.

Nos estudos do AT&T RC, ele é encarado como uma espécie de falta de habilidade do ouvido humano para detectar sinais fracos na presença de outros, mais fortes. Como um sistema codificador e decodificador, que introduz erros durante o processo de codificação e de decodificação.

nota do autor

Este apêndice está praticamente todo baseado num artigo, denominado “O limite do seu ouvido”, que escrevi para a Revista Somtrês, número 101, de maio de 1.987. Apesar da atualização que fiz, e de alguns enxertos, entendo que o conhecimento que adquirimos sobre os ouvidos nessas quase duas décadas são muito modestos.

Especialmente se comparados com os avanços havidos na medicina, considerado o mesmo período, em sua maioria resultantes dos progressos da ciência eletrônica aplicados a máquinas e aparelhos fantásticos.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

apêndice F **coeficientes de absorção** **acústica**



Conteúdo do apêndice F

APÊNDICE F - COEFICIENTES DE ABSORÇÃO ACÚSTICA F.1 ASSENTOS E PLATÉIAS (UNITÁRIO OU METRO LINEAR) F.2 MATERIAIS DE ACABAMENTO

F.3 MATERIAIS ACÚSTICOS VARIADOS

F.4 MATERIAIS ACÚSTICOS MODULARES DIGITAL

F.5 CORTINAS

F.6 CARPETES E TAPETES

F.7 MATERIAIS ACÚSTICOS PRÉ FABRICADOS

F.8 PAINÉIS ACÚSTICOS

F.9 PAINÉIS HYTEC BY CYSNE

F.10 DIVERSOS

APÊNDICE F - COEFICIENTES DE ABSORÇÃO ACÚSTICA Para elaborar as relações de coeficientes de absorção apresentados a seguir, utilizei parte do acervo de documentos da Digital Tecnologia de Áudio e Vídeo Ltda., que gentilmente os cedeu para tal finalidade, e para publicação exclusiva como apêndice deste trabalho.

Os documentos citados são regularmente atualizados. A data da última atualização é 23.04.97. Essas atualizações geralmente incorporam novos dados, e eventualmente, alguns deles são substituídos, o que ocorre quando os mesmos são considerados obsoletos.

A origem de cada conjunto de dados é informada sempre na coluna direita de cada uma das tabelas, apresentadas por grupos de materiais.

Os códigos de origem são: Origem Fonte

01 Building Research Station - USA

02 F. Alton Everest – USA 03 General Building Materials & Furnishings - USA e Cysne
Sound Engineering 04 General Building Materials & Furnishings - USA 05 Mente &
Bedell - USA 06 Dr. Vern O. Knudsen - USA 07 Dr. W.C. Sabine - USA 08 P. E. Sabine -
USA 09 National Physical Laboratory - USA

10 Bureau os Standards - USA

11 Est. Dr. Vern Knudsen e Dr. Cyril Harris - USA 12 Dr. F. R. Watson - USA 13 Dr. R. W. Leonard - USA 14 L. F. Cysne - Brasil 15 Instituto de Eletrotécnica - Brasil 16 Eucatex - Brasil 17 Riverbank Acoustical Laboratories - USA 18 Igor Sreneswski - Brasil 19 Santa Marina - Brasil 20 Illbruck - Brasil

21 IPT - Brasil

22 Universidade Federal de Santa Catarina - Brasil 23 Tratamento Termo Acústico Ltda.
- Brasil

24 RPG - USA

F.1 ASSENTOS E PLATÉIAS (UNITÁRIO OU METRO LINEAR)

PRODUTO	DESCRIÇÃO	FREQUÊNCIA (Hz)						ORIGEM
		125	250	500	1K	2K	4K	
1. Assento	desocupado estofado com couro	.16	.20	.22	.23	.21	.19	03
	desocupado estofado com tecido	.18	.25	.30	.33	.21	.19	03
	pouco estofado com couro ou plástico	.12	.17	.19	.21	.24	.26	04
	muito estofado com couro ou plástico	.28	.40	.33	.28	.26	.19	04
	muito estofado com tecido	.33	.42	.46	.51	.51	.46	04
2. Banco	madeira com almofada	.11	.16	.19	.20	.18	.15	04
	pinho, contínuo	.05	.06	.06	.07	.06	.04	04
	madeira, sem estofamento	.03	.05	.07	.07	.06	.06	04
3. Cadeira	box spring, estofada no assento/encosto	.03	.13	.15	.12	.07	.03	12
	assento de madeira, abaixado	.01	.02	.02	.04	.04	.03	12
	assento/encosto c/ bordas em mohair	.25	.29	.28	.31	.32	.31	12
	idem, assento elevado	.26	.31	.32	.34	.35	.33	12
	plástico, braços planos, assento abaixado	.14	.40	.42	.42	.33	.26	12
	idem, assento levantado	.19	.38	.39	.35	.33	.33	12
	desocupada, assento em madeira/metal	.06	.07	.08	.15	.14	.11	03
	de teatro, estofamento completo	.25	.32	.28	.31	.33	.30	10
	loge americana, em mohair	.29	.34	.42	.46	.48	.48	10
4. Pessoas	adulto	.23	.33	.39	.43	.46	.46	11
	adulto sentado em loge	.28	.33	.42	.46	.48	.48	11
	criança de ginásio	.20	.28	.35	.38	.42	.43	11
	criança de primário	.17	.21	.26	.30	.33	.35	11
5. Platéia	mesclada, sentada bancos de igreja	.20	.25	.31	.35	.33	.31	10
	mesclada, sentada cadeiras de teatro	.23	.32	.38	.46	.39	.35	10
	sentada em bancos estofados	.22	.28	.33	.37	.35	.32	-
	sentada, esparsa, assento pouco estofado	.23	.33	.37	.42	.46	.42	-
	sentada, assento pouco estofado	.30	.40	.44	.51	.56	.53	-
	sentada, junta, assento muito estofado	.37	.46	.51	.60	.65	.65	-

F.2 MATERIAIS DE ACABAMENTO

PRODUTO	DESCRIÇÃO	FREQUÊNCIA (Hz)						ORIGEM
		125	250	500	1K	2K	4K	
1. Bloco	concreto rústico	.36	.44	.31	.29	.39	.25	04
	concreto pintado	.10	.05	.06	.07	.09	.08	04
	tipo cinder	.30	.45	.60	.40	.45	.40	14
2. Concreto	despejado sem pintura	.01	.01	.02	.02	.02	.03	06
3. Estuque, Gesso e Massa fina	acabam liso							
	sobre tijolo ou telhas	.01	.01	.02	.03	.04	.05	06
	sobre tijolo vazado	.01	.01	.02	.03	.04	.05	07
	sobre sarrafo	.02	.03	.04	.05	.04	.03	04
	acabam rústico	.02	.02	.03	.04	.04	.03	04
	acabam areia	.04	.05	.03	.08	.04	.06	06
	massa fina	.02	.03	.04	.06	.06	.03	08
	massa grossa	.02	.03	.04	.06	.06	.03	08
	barro	.02	.03	.04	.06	.06	.03	08
	gesso 12mm	.29	.10	.05	.04	.07	.09	04
	gesso 9mm	.30	.20	.15	.05	.05	.05	14
4. Madeira (painel)	espessura 6mm	.60	.30	.10	.09	.09	.09	04
	espessura 10mm	.28	.22	.17	.09	.10	.11	04
	12mm envernizado s/ sarrafos com espaçamento de 40 cm	.11	.11	.12	.11	.10	.09	06
	5mm colado em parede de gesso de 6mm montado c/ espaço de ar c/ fibra de vidro	.05	.05	.05	.03	.02	.02	04
	5mm, espaço de ar 50mm, c/ lâ de vidro	.30	.25	.20	.17	.15	.10	04
	12mm, espaço de ar 50mm, c/ lâ de vidro	.40	.35	.20	.15	.05	.05	14
	12mm, espaço de ar 50mm, c/ lâ de vidro	.30	.20	.15	.10	.15	.10	14
5. Mármore	placas vitrificadas	.01	.01	.01	.01	.02	.02	4
6. Parede de tijolo	Pintada	.01	.021	.02	.02	.02	.02	07
	sem pintura	.02	.02	.03	.04	.05	.07	07
	não vitrificado	.01	.01	.02	.02	.02	.03	04
	idem, com pintura	.03	.03	.03	.04	.05	.07	04
7. Piso	concreto	.01	.01	.01	.02	.02	.02	04
	cerâmica	.01	.01	.01	.02	.02	.02	04
	cortixa 19mm colada	.08	.02	.08	.19	.21	.22	01
	idem, encerada	.04	.03	.05	.11	.07	.02	04
	linóleo	.02	.03	.03	.03	.03	.02	04
	asfalto	.02	.03	.03	.03	.03	.02	04
	borracha sobre concreto	.02	.03	.03	.03	.03	.02	04
	madeira comum	.15	.11	.10	.07	.06	.07	04
	parquê sobre asfalto	.04	.04	.07	.06	.06	.07	.04
	pinho do Oregon 19mm	.09	.09	.08	.09	.10	.11	06
	fibra de coco	.11	.13	.17	.40	.29	.29	14
8. Forro	feltro em 3 camadas, coladas a lâ de rocha de 25mm (80kg/m³),							
	espaçamento 25mm	.30	.84	.30	.15	.15	.15	14
	espaçamento 75mm	.98	.45	.19	.15	.15	.15	14
	espaçamento 150mm	.91	.55	.30	.15	.15	.15	14
	espaçamento 300mm	.87	.47	.30	.15	.15	.15	14
	feltro em 6 camadas, coladas a lâ de rocha de 50mm (80kg/m³),							
	espaçamento 150mm	.60	.53	.35	.15	.15	.15	14
	espaçamento 300mm	.48	.32	.19	.15	.15	.15	14
	Gesso suspenso, grande espaçamento	.20	.15	.10	.05	.05	.05	14
9. Vidro	papelão 3mm, colado a feltro, espaço 50mm	.90	.45	.25	.15	.10	.10	14
	comum de janela	.35	.25	.18	.12	.07	.04	04
	espessura de até 4mm	.35	.25	.20	.10	.05	.05	14
	espessura 6mm	.15	.06	.04	.03	.02	.02	14
	peças grandes	.18	.06	.04	.03	.02	.02	04

F.3 MATERIAIS ACÚSTICOS VARIADOS

PRODUTO	DESCRIÇÃO	FREQUÊNCIA (Hz)						ORIGEM
		125	250	500	1K	2K	4K	
1. Feltro	p/ teto 2 camadas, densidade 3.9 Kg/m²	.50	.30	.20	.10	.10	.10	3
2. Fibra de vidro isolante	placas 25mm	.08	.24	.51	.79	.74	.72	03
	placas 50mm	.39	.53	.84	.92	.83	.79	03
	placas 100mm	.39	.91	.99	.98	.93	.88	03
3. Fibra não de vidro	12mm com pintura	.05	.10	.10	.10	.10	.15	03
	idem, sem pintura	.05	.10	.15	.25	.30	.30	03
	25mm com pintura	.30	.22	.15	.12	.10	.10	03
	idem, sem pintura	.30	.22	.15	.12	.10	.10	03
4. Gesso acústico	zonolite 12mm	.31	.32	.52	.81	.88	.84	03
	zonolite 25mm	.25	.45	.78	.92	.89	.87	03
	chapa 12mm em sarrafos	.29	.10	.05	.04	.07	.09	03
5. Lã de Vidro	25mm							
	pregada em sarrafos	.29	.10	.05	.04	.07	.09	03
	com tecido tramado	.15	.35	.70	.85	.90	.90	03
	com papelão 5% perfurado	.10	.35	.85	.85	.35	.15	03
	idem, perfuração 10%	.15	.30	.75	.85	.75	.40	03
	50mm							
	com tecido tramado	.35	.70	.90	.90	.95	.90	03
	c/ papelão 10% perfurado	.40	.80	.90	.85	.75	.70	03
6. Lã de Mineral	25mm							
	pregada em sarrafos	.29	.10	.05	.04	.07	.09	03
	com tecido tramado	.15	.35	.70	.85	.90	.90	03
	com papelão 5% perfurado	.10	.35	.85	.85	.35	.15	03
	idem, perfuração 10%	.15	.30	.75	.85	.75	.40	03
	50mm							
	com tecido tramado	.35	.70	.90	.90	.95	.90	03
	c/ papelão 10% perfurado	.40	.80	.90	.85	.75	.70	03
7. Asbestos spray	espessura 25mm	.30	.40	.63	.80	.75	.75	14
	espessura 100mm	.10	.25	.60	.70	.75	.80	14
8. Espuma poliuretano CA	espessura 25mm	.15	.30	.60	.75	.85	.90	14
	espessura 50mm	.25	.50	.85	.95	.90	.90	14
	espessura 100mm	.50	.70	.95	1.00	1.00	1.00	14
9. Espuma de uretano comprimido	espessura 12mm	.01	.10	.27	.50	.85	.99	14
	espessura 25mm	.01	.20	.48	.90	.99	.99	14
	espessura 50mm	.01	.57	.90	.99	.99	.99	14

F.4 MATERIAIS ACÚSTICOS MODULARES DIGITAL

PRODUTO	DESCRIÇÃO	FREQUÊNCIA (Hz)						ORIGEM
		125	250	500	1K	2K	4K	
1. Difusores Policilíndricos (desenhos Digital)	D-DP-01	.48	.56	.38	.25	.20	.22	14
	D-DP-02	.41	.40	.33	.25	.20	.22	14
	D-DP-03	.42	.55	.42	.28	.22	.22	14
	D-DP-04	.37	.35	.32	.28	.22	.22	14
	D-DP-05	.35	.50	.38	.30	.22	.18	14
	D-DP-06	.32	.35	.30	.25	.20	.23	14
	D-DP-07	.30	.42	.35	.23	.19	.20	14
	D-DP-08	.25	.30	.33	.22	.20	.21	14
2. Módulos (desenhos Digital)	D-MO-01	.33	.26	.21	.15	.07	.05	02
	D-MO-02	.18	.60	.27	.12	.01	.01	02
	D-MO-03	.45	.45	.13	.08	.01	.01	02
	D-MO-04	.40	.70	.30	.12	.10	.05	02
	D-MO-05	.40	.84	.40	.16	.14	.12	02
	D-MO-06	.25	.96	.66	.26	.16	.10	02
	D-MO-07	.27	.84	.96	.36	.32	.26	02
	D-MO-08	.80	.58	.27	.14	.12	.10	02
	D-MO-09	.98	.88	.52	.21	.16	.14	02
	D-MO-10	.78	.98	.68	.28	.16	.12	02
	D-MO-11	.78	.98	.95	.53	.32	.27	02
	D-MO-12	.67	1.00	.98	.93	.98	.96	02
	D-MO-13	.60	.98	.82	.90	.49	.36	02
	D-MO-14	.74	.53	.40	.30	.14	.16	02
	D-MO-15	.28	.22	.17	.09	.10	.11	02
	D-MO-16	.48	.78	.60	.38	.32	.16	02
	D-MO-17	.22	.58	.93	.95	.91	.83	02
	D-MO-18	.13	.20	.63	.97	.73	.44	02

F.5 CORTINAS

PRODUTO	DESCRIÇÃO	FREQUÊNCIA (Hz)						ORIGEM
		125	250	500	1K	2K	4K	
1. De algodão 385 gramas/m²	dobrado em 1/2 área	.07	.37	.49	.81	.66	.54	08
	dobrado em 7/8 área	.03	.12	.15	.27	.37	.42	08
	400 gramas/m²	.04	.23	.40	.57	.53	.40	02
	dobrado em 7/8 área	.03	.12	.15	.27	.37	.42	02
2. De veludo 275 gramas/m²	pendurado	.03	.04	.11	.17	.24	.35	01
	385 gramas/m²	.07	.31	.49	.75	.70	.60	02
	pesado	.24	.35	.55	.72	.70	.65	02

F.6 CARPETES E TAPETES

PRODUTO	DESCRIÇÃO	FREQUÊNCIA (Hz)						ORIGEM
		125	250	500	1K	2K	4K	
1. Carpete	Anritza 12 mm s/ concreto	.09	.06	.24	.24	.24	.11	01
	Cardinal Batala 12mm sobre concreto	.12	.10	.28	.42	.21	.33	01
	pelos 8mm sobre manta de 3mm	.11	.14	.27	.43	.27	.25	01
	pelos 10mm sobre concreto	.09	.08	.21	.26	.27	.37	01
	fornado com borracha sobre concreto	.04	.04	.08	.12	.03	.10	01
	interno/externo	.01	.05	.10	.20	.45	.65	02
	não fornado de uso geral	.08	.12	.15	.20	.25	.23	03
	pesado sobre concreto	.02	.06	.14	.37	.60	.65	04
	pesado s/ feltro de 1,3 Kg/m²	.08	.24	.57	.69	.71	.73	04
	com espuma de borracha sobre concreto	.08	.24	.57	.69	.71	.73	04
	pesado, com látex sobre feltro	.08	.27	.39	.34	.48	.63	04
	tipo Axminster	.11	.14	.20	.33	.32	.82	05

F.7 MATERIAIS ACÚSTICOS PRÉ FABRICADOS

PRODUTO	DESCRIÇÃO	FREQUÊNCIA (Hz)						ORIGEM
		125	250	500	1K	2K	4K	
1. Eucatex	chapa celulose							
	ranhurado 12,7mm, espaço 50mm	.18	.21	.23	.28	.28	.46	15
	travertino 12,7mm, espaço 50mm	.30	.30	.25	.25	.16	.46	15
	A regular 12,7mm, espaço 50mm	.32	.33	.41	.74	.56	.69	15
	ranhurado 19mm, espaço 50mm	.26	.70	.58	.38	.57	.52	15
	travertino 19mm, espaço 50mm	.26	.72	.64	.62	.56	.54	15
	A regular 19mm, espaço 50mm	.48	.76	.62	.63	.76	.86	15
	Eucaroc							
	perfil A regular	.31	.39	.47	.60	.77	.79	16
	perfil irregular	.32	.35	.38	.42	.52	.68	16
	texturizado, pinpoint	.14	.21	.28	.28	.36	.30	16
	juta	.07	.12	.10	.12	.312	.30	16
	azteca	.07	.12	.10	.12	.12	.30	16
	coral	.07	.12	.10	.12	.12	.30	16
	Eucavid							
	E-82	.69	.81	.71	.86	.68	.43	16
	feltro 21.02.1 25mm	.23	.49	.58	.77	.87	.92	16
	feltro 21.01.1 50mm	.39	.74	.93	.94	.96	.95	16
	painel 132 Kg/m²	.23	.51	.68	.87	.94	.94	16
	painel 40 Kg/m²	.25	.48	.66	.87	.94	.94	16
	Acustilux							
	baffle, espaçamento 90mm	.45	.70	.80	.64	.19	.51	16
	baffle, espaçamento 1000mm	1.00	.80	.64	.45	.30	.45	16
	Fibraroc							
	texturizado 15mm, espaço 400mm	.27	.13	.08	.09	.09	.10	17
	idem, fissurado	.31	.21	.21	.29	.33	.36	17
	idem, pinpoint	.30	.20	.21	.26	.28	.30	17
	Paraline							
	régua 19, espaço 400mm, s/ perf.	.60	.73	.55	.62	.35	.39	17
	idem, perfuração 5%	.52	.82	.56	.78	.87	.85	17
	bandeja 19, espaço 300mm	.52	.58	.90	.85	.68	.60	18
	idem, fixada no teto	.13	.10	.11	.08	.10	.10	18
	fechado, régua perf 200/10 e 125/7	.35	.40	.56	.72	.80	.76	16
	fechado, régua perf 100/10	.33	.40	.56	.72	.80	.76	16
2. Santa Marina	Forrovid							
	espessura 30 mm	.15	.63	.54	.67	.63	.53	19
	espessura 50mm	.57	.81	.64	.66	.43	.25	19
	Painel rígido							
	lã de vidro PSI 30-50, esp 50mm	.17	.62	.90	1.00	1.07	.97	21
	lã de vidro PSI 40-25, esp 25mm, montagem em plenum	.50	.73	.49	.71	.74	.69	21
	lã de vidro PSI 40-25, esp 25mm, montagem em parede	.05	.24	.50	.70	.87	.87	21
	lã de vidro PSI 60-25, esp 25mm, montagem em plenum	.50	.74	.60	.73	.79	.78	21
	Filtro em rolo							
	lã de vidro FSB 12-50, esp 50mm	.16	.42	.68	.94	.95	1.00	21
	lã de vidro FSB 12-75, esp 75mm	.22	.72	.97	1.07	.90	1.02	21
	lã de vidro FSB 20-25, esp 20mm	.12	.33	.59	.81	.90	.93	21
	lã de vidro FSB 20-50, esp 50mm	.21	.50	.84	1.00	.99	1.03	21
	Pistofibra							
	amarela, espessura 30 a 40mm	.07	.33	.64	.75	.89	.96	21
3. Illbruck	Sonex							
	20/35	.00	.10	.23	.42	.67	.84	20
	35/35	.04	.25	.53	.85	.96	.99	20
	50/75	.12	.31	.78	.99	.99	.99	20
	75/75	.13	.56	.99	.99	.99	.99	20
	75/125	.24	.56	.96	.99	.99	.99	20
4. Fiberglass	fibras resinadas							
	M5-20, espessura 50mm	.35	.40	.74	.80	.91	.96	22
	M5-20, espessura 100mm	.84	.98	1.10	1.11	1.09	1.17	22
	M5-40, espessura 50mm	.50	.58	.91	1.10	1.05	1.06	22
	M5-40, espessura 100mm	.87	1.23	1.19	1.15	1.12	1.09	22
5. Morganite	Kaowool							
	manta 64 kg/m², espessura 25mm	.10	.29	1.00	1.04	.99	.98	17
	manta 96 kg/m², espessura 25mm	.12	.35	.99	.88	.90	.91	17
	manta 64 kg/m², espessura 50mm	.27	.92	1.01	1.01	1.03	1.10	17
	manta 96 kg/m², espessura 50mm	.33	.92	.83	.89	.92	.91	17
6. Climatec	C-25							
	chapa de fibra de madeira prensada	.03	.10	.23	.59	.81	.62	21
7. ArtCustic	espuma sobre folha de chumbo	.27	.77	.63	.67	.71	.85	21
8. Rhodia	bidin, espessura 6mm	.03	.05	.12	.20	.38	.58	21
9. Fademac	muralflex							
	bucle							
	espessura 3,7mm	.02	.04	.09	.10	.29	.40	21
	espessura 4,5mm	.03	.07	.17	.30	.53	.69	21
10. Siporex	bloco celular autoclavado, espessura 100mm	.02	-	.19	-	.34	-	-
11. Tratamento Termo Acústico Ltda.								
	acustic-mil	.05	.24	.65	.87	.99	1.00	23
	celujet, espessura 25 a 30mm	.06	.22	.60	.87	.98	.10	21
12. RPG								
	diffusorblox, espessura 12mm, sem pintura	.98	.90	.93	.77	.80	.77	24
	diffusorblox, espessura 12mm, pintado	.76	.51	.57	.34	.24	.26	24

F.8 PAINÉIS ACÚSTICOS

		FREQÜÊNCIA (Hz)						
DESCRIÇÃO	DESCRIÇÃO	125	250	500	1K	2K	4K	ORIGEM
1. Papelão (tipo duratec)	12mm							
	sobre superfície rígida	.10	.15	.25	.30	.32	.35	14
	12mm, espaço de ar 25mm	.18	.38	.35	.30	.34	.36	14
	12mm, espaço de ar 100mm	.45	.27	.25	.26	.32	.35	14
	3mm, espaço de ar 25mm, com absorvente, 10% perf	.08	.28	.59	.80	.65	.40	14
	3mm espaçamento 50mm com absorvente, 10% perf 19mm	.21	.65	.82	.83	.69	.40	14
	espaçamento 12mm, 8% de perfuração	.12	.30	.64	.73	.65	.52	14
	32mm espaçamento 12mm, 8% de perfuração	.14	.44	.82	.78	.59	.48	14
2. Chapa metálica 220g/m²	espaço 50mm c/ absorvente, perf 3%	.23	.60	.92	.63	.24	.17	14
	espaço 50mm c/ absorvente, perf 10%	.19	.50	.56	.83	.68	.62	14
	espaço 50mm c/ absorvente, perf 23%	.17	.44	.68	.77	.81	.84	14
3. Madeira	espessura 12mm							
	com absorvente							
	espaço de ar 30mm	.44	.20	.13	.09	.07	.05	14
	espaço de ar 60mm	.37	.19	.13	.09	.07	.05	14
	espaço de ar 50mm, 5% perf	.48	.94	.60	.35	.25	.19	14
	espaço de ar 30mm	.15	.25	.12	.08	.08	.08	14
	espaço de ar 58mm	.28	.20	.10	.10	.08	.08	14
	espessura 3mm							
	espaço de ar 50mm, s/ absorvente	.38	.27	.17	.12	.08	.05	14
	espaço de ar 50mm, c/ absorvente	.43	.36	.20	.12	.08	.05	14
	espessura 4mm							
	espaço de ar 50mm, com absorvente, perfuração 11%	.40	.89	.79	.52	.40	.32	14
	perfuração 16,5%	.38	.86	.86	.65	.51	.39	14
	perfuração 1,6%, com lâ de vidro de 50mm, densidade (80kg/m³)							
	espaço de ar 50mm	.19	.90	.76	.28	.15	.10	14
	espaço de ar 100mm	.25	.96	.66	.26	.16	.10	14
	espaço de ar 160mm	.39	.87	.58	.33	.15	.10	14
	perfuração 1,6%, com lâ de vidro de 100mm, densidade (80kg/m³)							
	espaço de ar 100mm	.65	.90	.64	.28	.15	.12	14
	espaço de ar 200mm	.78	.98	.68	.27	.16	.12	14
	espaço de ar 50mm	.26	.88	.38	.29	.12	.10	14
	perfuração 0,5%, com lâ de vidro de 50mm, densidade (80kg/m³)							
	espaço de ar 100mm	.43	.69	.33	.17	.10	.10	14
	espaço de ar 150mm	.51	.60	.33	.15	.10	.10	14
	espaço de ar 200mm	.86	.68	.39	.17	.13	.10	14
	perfuração 0,2%, com lâ de vidro de 50mm, densidade (80kg/m³)							
	espaço de ar 50mm	.06	.42	.20	.07	.07	.06	14
	espaço de ar 100mm	.37	.68	.31	.15	.10	.09	14
	perfuração 0,2%, espaço de ar 100mm, lâ de vidro densidade (80kg/m³)							
	espessura da lâ de vidro 50mm	.40	.70	.30	.12	.10	.05	14
	espessura da lâ de vidro 100mm	.77	.64	.30	.15	.15	.10	14
	perfuração 0,2%, espaço de ar 200mm, lâ de vidro 100mm (80kg/m³)	.80	.58	.27	.14	.12	.10	14
	perfuração 0,2%, espaço de ar 50mm, lâ de vidro 100mm (80kg/m³)	.06	.22	.31	.12	.10	.08	14
	perfuração 0,1%, espaço de ar 50mm, lâ de vidro 50mm (80kg/m³)	.31	.99	.51	.14	.14	.10	14
	perfuração 0,1%, espaço de ar 100mm, lâ de vidro 50mm (80kg/m³)	.40	.84	.40	.16	.14	.12	14
	perfuração 0,1%, espaço de ar 100mm, lâ de vidro 100mm (80kg/m³)	.68	.88	.41	.17	.14	.10	14
	perfuração 0,1%, espaço de ar 200mm, lâ de vidro 100mm (80kg/m³)	.98	.88	.52	.21	.16	.14	14
4. Plástico 4mm	espaçamento 100mm, 1,6% perfuração	.05	.34	.35	.14	.05	.01	14
	espaçamento 150mm, 1,6% perfuração	.15	.42	.32	.11	.06	.01	14
	espaçamento 50mm, lâ de vidro 50mm (80kg/m³),	.14	.77	.90	.40	.19	.14	14
	1,6% perfuração espaçamento 100mm, lâ de vidro 50mm (80kg/m³),	.28	.95	.95	.38	.14	.14	14
	1,6% perfuração espaçamento 150mm, lâ de vidro 50mm (80kg/m³),	.42	.96	.77	.43	.16	.16	14
	1,6% perfuração espaçamento 100mm, lâ de vidro 100mm (80kg/m³), perf 1%	.66	.96	.88	.47	.20	.16	14
	espaçamento 50mm, 0,5% perfuração	.18	.78	.44	.20	.05	.01	14
	espaçamento 100mm, 0,5% perfuração	.58	.74	.45	.28	.02	.01	14
	espaçamento 100mm, lâ de vidro 50mm (80kg/m³),	.23	.71	.39	.22	.05	.01	14
	0,5% perfuração espaçamento 150mm, lâ de vidro 100mm (80kg/m³), perf 0,5%	.53	.64	.40	.08	.05	.01	14

F.9 PAINÉIS LINHA HITEC BY CYSNE

		FREQÜÊNCIA (Hz)						ORIGEM
DESCRIÇÃO	DESCRIÇÃO	125	250	500	1K	2K	4K	
1. Família PAD	PAD63	.09	.02	.01	.01	.01	.01	03
	PAD125	.99	.35	.10	.02	.01	.01	03
	PAD250	.38	.96	.36	.11	.02	.01	03
	PAD500	.06	.28	.92	.63	.26	.05	03
	PAD1K	.01	.07	.44	.94	.30	.12	03
	PAD2K	.01	.05	.25	.72	.95	.76	03
	PAD4K	.01	.01	.04	.15	.47	.86	03
2. Família PAR	PAR63	.09	.58	.27	.14	.12	.10	03
	PAR125	.98	.88	.52	.21	.16	.14	03
	PAR250	.78	.98	.68	.27	.16	.12	03
	PAR500	.78	.98	.95	.53	.32	.27	03
	PAREA	.67	1.00	.09	.93	.98	.96	03
3. Especulares	Pira MF	.25	.30	.33	.22	.20	.21	03
	Pira AF	.25	.30	.33	.22	.20	.21	03
	Poli H	.35	.38	.32	.28	.22	.20	03
	Poli V	.35	.38	.32	.28	.22	.20	03
4. Não Especulares	QRD-BF	.23	.24	.35	.23	.20	.20	03
	QRD-MF	.23	.24	.35	.23	.20	.20	03
	QRD-AF	.12	.10	.14	.22	.06	.12	03
	PRD-BF	.12	.10	.14	.22	.06	.12	03
	PRD-MF	.12	.10	.14	.22	.06	.12	03
	PRD-AF	.12	.10	.14	.22	.06	.12	03
5. Cysne Signature	PD511-MF	.12	.10	.14	.22	.06	.12	03
	PD511-AF	.11	.11	.15	.22	.05	.12	03
	PD516-MF	.08	.10	.12	.17	.06	.13	03
	PD516-AF	.07	.12	.11	.15	.09	.14	03

F.10 DIVERSOS

		FREQÜÊNCIA (Hz)						ORIGEM
DESCRIÇÃO	DESCRIÇÃO	125	250	500	1K	2K	4K	
1. Abertura	grelhas em geral	.25	.35	.40	.53	.65	.70	04
	mezanino c/ bancos estofados	.50	.60	.70	.80	.90	1.00	04
	palco, poucos móveis	.25	.30	.35	.40	.45	.50	04
	palco, muitos móveis	.50	.55	.60	.65	.70	.75	04
	ventilação em geral	.15	.25	.35	.40	.45	.50	04
	ventiladores, 50% vazado	.30	.40	.50	.50	.50	.55	04
2. Ar	ar (Sabins por 100m³)	.00	.00	.00	.00	7,5	23,6	04
3. Areia dens 225 Kg/m³ seca, grão pequenos	profundidade 10 cm	.05	.05	.05	.05	.05	.15	09
	profundidade 10 cm	.15	.35	.40	.50	.55	.80	08
	profundidade 30 cm	.20	.30	.40	.50	.60	.75	09
4. Cinza caída, solta, 30Kg/m³	profundidade 8 cm	.25	.55	.65	.80	.80	.80	09
	profundidade 30 cm	.90	.90	.75	.80	.80	.80	09
5. Água	lâmina de água	.01	.01	.01	.02	.02	.03	04
6. Terra solta e úmida	profundidade 10 cm	.25	.60	.65	.70	.75	.80	09
	profundidade 30 cm	.50	.65	.65	.80	.80	.75	09

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

apêndice G
relação de figuras, expressões



APÊNDICE G – RELAÇÃO DE FIGURAS, EXPRESSÕES E TABELAS

G.1 RELAÇÃO DE FIGURAS

INTRODUÇÃO

FIGURA	DESCRIÇÃO
I.1	exemplo de sistema de reforço de som e suas distâncias mais importantes
I.2	exemplo muito característico de “PA” dos anos 70 e 80, com as caixas acústicas instaladas no piso, umas sobre as outras, para formar os canais “L” e “R”

CAPÍTULO 1

FIGURA	DESCRIÇÃO
1.1	aspecto da mesa com 36 microfones de um sistema de mixagem automática instalado pela Digital Tecnologia de Áudio e Vídeo Ltda. na Sala do Conselho do Bradesco, Osasco, São Paulo
1.2	esquema básico de funcionamento dos sistemas de mascaramento acústico
1.3	representação de ideia de som multipista para cinema, parte de artigo escrito por R. Vermeulen e veiculado em abril de 1958 em Jornal da Audio Engineering Society (no. 2, vol 6, páginas 124 a 130)
1.4	foto panorâmica de cinema equipado com sistema Dolby
1.5	foto de aparato de som por trás da tela num cinema equipado com Dolby Atmos
1.6	foto de foyer de acesso de sala de cinema equipada com sistema Dolby Atmos
1.7	configuração típica de um sistema de segurança predial
1.8	típico hub de rede Ethernet
1.9	rede Ethernet com 16 componentes interligados por switch de 16 portas
1.10	layers previstos na recomendação X.200
1.11	os blocos construtivos elementares das redes Ethernet
1.12	típica interligação P2P
1.13	topologia daisy chain
1.14	topologia anel
1.15	topologia estrela
1.16	rede usando conversor de mídia
1.17	antena parabólica para redes Ethernet sem fio
1.18	arquitetura do recurso trunking
1.19	arquitetura do recurso spanning tree
1.20	arquitetura do recurso meshing
1.21	equipe especializada no içamento de cargas pesadas içando uma das pilhas linearray no Ginásio municipal de São Bernardo do Campo

1.22	caixas elétricas equipe especializada no içamento de cargas pesadas içando uma das pilhas linearray no Ginásio municipal de São Bernardo do Campo
1.23	Neutrik modelos NE8FDX-P6 e NE8MX-6 para cabos UTP cat6a
1.24	Fluke DTX-1800, próprio para certificação de cabos até categoria 6a
1.25	parte do painel traseiro do mixer digital Yamaha modelo PM5D com os 4 slots para NICs
1.26	NICs disponibilizados pela Yamaha para o mixer PM5D e para o mixer Rivage PM10 (cartão número 6 na figura)
1.27	vista parcial do painel traseiro do novo mixer Rivage PM10 da Yamaha, mostrando parte dos slots disponíveis para interfaces
1.28	28 NIC Yamaha modelo HY144-D, desenhado para funcionar com o protocolo Dante no mixer digital Yamaha modelo PM10
1.29	cabo UTP com condutores sólidos à esquerda e com condutores trançados à direita
1.30	cabine metálica para uso externo
1.31	mesa com sistema de mixagem automática do Salão Oval da Presidência da República
1.32	vista parcial das caixas acústicas instaladas no Estádio Monumental em Lima, Peru
1.33	33 aspecto da chegada do link principal de fibra ótica na sala dos equipamentos no Estádio Monumental em Lima, Peru
1.34	diagrama de blocos de uma das cabines técnicas do sistema de sonorização da sede da Petrobrás, Rio de Janeiro
1.35	diagrama de blocos parcial mostrando os equipamentos dos pavimentos 19º ao 23º
1.36	rack byface do gabinete previsto para o 25º pavimento da sede da Petrobrás, Rio de Janeiro
1.37	rack de palco à esquerda e equipamentos recebendo os sinais na cabine FOH
1.38	detalhe de cabeamento interno de rack de palco da Igreja Batista Nacional

	do Cristo Rei, Várzea Grande, MT
1.39	vista geral de um conversor de média para uso em redes Ethernet
1.40	extensor geral de um conversor de média para uso em redes Ethernet
1.41	cabo GPIO típico
1.42	conversor GPI para RS232

CAPÍTULO 2

FIGURA	DESCRIÇÃO
2.1	logaritmos de base 10 dos números 1 até 10
2.2	contornos de mesma audibilidade - Robinson e Dadson, 1.956
2.3	curvas de ponderação A, B e C
2.4	nomograma utilizado para combinação de decibéis
2.5	nomograma 10 log
2.6	nomograma 20 log

CAPÍTULO 3

FIGURA	DESCRIÇÃO
3.1	peso suspenso por mola
3.2	propagação do som no ar
3.3	formas de onda (A) Diapasão acústico, (B) Violino e (C) Oboé
3.4	variações da pressão atmosférica durante a propagação dos sons
3.5	exemplo de forma de onda correspondente a um movimento periódico, mas não harmônico
3.6	forma de onda da figura 3.5, e como ela é formada pela “soma” de duas ondas sinusoidais puras, harmonicamente relacionadas
3.7	onda sinusoidal pura à esquerda, forma de onda complexa no centro e onda quadrada à direita, com seus respectivos espectros de frequência
3.8	forma de onda complexa de um típico sinal de áudio
3.9	ruído branco
3.10	ruído branco analisado por um instrumento com filtros com bandas de larguras fixas, ou ruído rosa analisado por um RTA convencional
3.11	exemplos da difração dos sons
3.12	onda incidente, onda refletida, parcela absorvida e onda refratada
3.13	formas de reflexão em superfícies plana e curvas
3.14	ilustração de refração causada pela passagem de um meio para outro, mais denso
3.15	exemplo de refração dos sons ao ar livre
3.16	ilustração do processo de medição de perda de transmissão em câmara reverberante
3.17	ruído rosa e medição de PT espectral
3.18	PT espectral do material considerado
3.19	contorno STC padrão
3.20	PT do material e contorno STC padrão
3.21	contorno STC padrão e PT do material ajustados para que as regras não sejam transgredidas

3.22	diferentes modos de vibração de um diafragma retangular
3.23	comportamento típico de uma barreira de som
3.24	estrutura de parede de ¼ de tijolo
3.25	estrutura de parede de ½ tijolo
3.26	estrutura de parede de 1 tijolo
3.27	teoria da estrutura dupla
3.28	estrutura dupla construída com gesso acartonado
3.29	desenho de montagem da estrutura dupla projetada com gesso acartonado
3.30	várias estruturas e suas capacidades de isolamento de ruídos
3.31	cola GREEN GLUE à esquerda e sua aplicação numa chapa de gesso, à direita
3.32	canal resiliente parafusado em batente vertical de madeira
3.33	clip genie à esquerda, sua fixação no batente ao centro e, à direita, um canal que se tornou totalmente resiliente graças ao uso do clip genie
3.34	no lado esquerdo o projeto básico da porta, no centro um detalhe do projeto, mostrando que são quatro níveis hierárquicos de hermetização e, no lado direito, a porta acústica já funcionando, num dos auditórios da diretoria executiva do Bradesco, Cidade de Deus, Osasco
3.35	várias gaxetas de hermetização fabricadas pela NGP Inc.
3.36	gaxetas de hermetização e hermetizadores de portas fabricadas pela NGP Inc
3.37	vários hermetizadores fabricados pela NGP Inc., agora incluindo soleiras de portas
3.38	soleiras de porta de bronze fabricadas pela NGP Inc.
3.39	curvas NC
3.40	frequência de ressonância de natureza acústica
3.41	produto já pulverizado sobre a superfície aparente do forro
3.42	interferência das ondas incidente e refletida - à esquerda, o cancelamento, e à direita, o reforço

3.43	efeito Gradiente aplicado a uma parede vertical
3.44	efeito gradiente no interior de um tubo
3.45	efeitos da variação da resistência ao fluxo nos coeficientes de absorção sonora
3.46	efeitos da variação da espessura do material nos coeficientes de absorção sonora
3.47	efeitos da variação do colchão de ar atrás do material absorsor nos coeficientes de
3.48	várias possibilidades de revestimentos transparentes
3.49	gráfico para determinação da atenuação da absorção a 10 kHz
3.50	chapas metálicas com percentuais de perfuração de 48%, 37% e 23%
3.51	arranjos possíveis para colocar o revestimento transparente sobre o material absorsor
3.52	gráfico típico de absorção de um absorsor poroso
3.53	painel de ação diafragmática
3.54	coeficientes de absorção dos painéis de ação diafragmática
3.55	alternativas geométricas para a construção dos painéis de ação diafragmática
3.56	forma de construtiva de painel de ação diafragmática, na qual todos os painéis acabam fugindo da posição vertical - Catedral do Espinheiro, Recife, Pernambuco
3.57	alternativas geométricas para a construção dos painéis de ação diafragmática
3.58	bass trap de canto
3.59	bass traps cilíndrico, semicilíndrico e de seção quadrada
3.60	ressonador de Helmholtz
3.61	características de absorção dos ressonadores de Helmholtz sem e com amortecimento
3.62	montagens de ressonadores de Helmholtz que dão origem aos ressonadores atuais - A. Origem dos painéis perfurados, B. Origem dos painéis “slat”

3.63	corte lateral de um absorsor de painel perfurado
3.64	localizações possíveis do material fonoabsor sor na cavidade de um absor sor de painel perfurado
3.65	curvas de absorção das localizações da figura 3.64
3.66	uma das formas de dividir a cavidade em células
3.67	aspectos do Teatro Municipal de Barueri, que comporta 700 pessoas sentadas. O sistema de sonorização foi projetado e instalado pela Digital Tecnologia de Áudio e Vídeo Ltda., que também projetou toda a acústica interna e de isolação. As fotos ilustram algumas das ideias do projeto acústico, e que mostram nas paredes ao fundo da foto a utilização prática dos painéis acústicos empregados.
3.68	detalhes dos absorsores de painéis perfurados instalados no Teatro Municipal de Barueri
3.69	variações da absorção para diferentes espessuras do painel
3.70	variações da absorção para diferentes distâncias entre furos do painel
3.71	variações da absorção para diferentes diâmetros dos furos do painel
3.72	variações da profundidade da cavidade do painel
3.73	variações da espessura do material fonoabsor sor do painel
3.74	variações da resistência específica ao fluxo do material fonoabsor sor do painel
3.75	coeficientes de absorção de painéis perfurados - curva A - espaço entre furos 100 mm, perfuração 0,196 %, FR calculada 59 Hz, curva B - espaço entre furos 65 mm, perfuração 0,46 %, FR calculada 91 Hz, curva C - espaço entre furos 35 mm, perfuração 1,60 %, FR calculada 169 Hz
3.76	slats com as tábuas montadas verticalmente
3.77	coeficientes de absorção acústica do slat da figura 3.76
3.78	projeto e fotos da execução de painéis slat na Igreja Batista Nacional de Várzea Grande, Mato Grosso, de projeto do autor
3.79	espectro de frequência dividido nas regiões A, B, C e D
3.80	propagação de tom puro e detalhes associados

3.81	a corda fixada em suas duas extremidades
3.82	tubo fechado numa extremidade só
3.83	tubo aberto em suas duas extremidades
3.84	tubo de Kundt, ou tubo K
3.85	reflexões do som entre duas paredes paralelas e a formação de ondas estacionárias
3.86	modos de reflexão axial, tangencial e oblíquo
3.87	distribuição de energia imposta pelos modos normais
3.88	ilustração do RT60 - Tempo de Reverberação
3.89	ilustração gráfica do Tempo de Reverberação
3.90	quedas típicas de RT60 para diversas bandas de frequências
3.91	analisador de espectro de áudio com funções de medição de Tempo de Reverberação, Klark Teknik modelo DN6000
3.92	tempos de Reverberação mais adequados para ambientes com diferentes volumes, para algumas atividades distintas - gráfico elaborado pela Cysne Science Publishing Co., a partir de dados levantados pela Acoustical Society of America
3.93	valores de RT60 para diferentes frequências
3.94	painéis policilíndricos desenhados pelo autor
3.95	difusores esféricos instalados no Hollywood Bowl, em Hollywood, Califórnia
3.96	difusores cúbicos instalados no Minnesota Association Orchestra Hall, em Minneapolis
3.97	difusores em forma de calotas, utilizados no Royal Albert Hall, em Londres
3.98	difusores em forma de pirâmide, instalados no Louise M. Davies Symphony Hall, em San Francisco, Califórnia
3.99	difusores em forma de almofadas, utilizados no Gewandhaus, em Leipzig
3.100	difusores geométricos instalados no Salle Wilfrid-Pelletier, em Montreal, Canadá

3.101	o primeiro difusor de códigos de sequência de comprimentos máximos do Dr. Schroeder
3.102	o padrão de difusão do difusor de códigos de sequência de comprimentos máximos
3.103	corte transversal de um difusor QRD
3.104	aspecto de difusores QRD projetados pelo autor, e instalados na sala de controle dos HPM Studio, Limeira, São Paulo, pela Cysne Sound Engineering
3.105	difusor QRD unidimensional projetado pelo autor
3.106	difusor QRD bidimensional projetado pelo autor
3.107	difusor QRD bidimensional macho
3.108	difusor Fractal
3.109	difusores fractais unidimensionais instalados na parede do fundo do palco do auditório da diretoria executiva do Banco Bradesco, Cidade de Deus, Osasco, São Paulo – projeto dos difusores e do auditório do autor
3.110	difusores fractais bidimensionais instalados nas paredes laterais e externas do auditório da diretoria executiva do Banco Bradesco, Cidade de Deus, Osasco, São Paulo – projeto dos difusores e do auditório do autor
3.111	aspecto de meu difusor experimental, desenhado no final dos anos 80
3.112	vista superior de uma sala mostrando a aplicação de difusores policilíndricos
3.113	elevações e aspectos de teatros modernos - Acima Flint Center, Cupertino, Califórnia, USA, consultor Bolt Beranek & Newman, Abaixo Hellman Hall, San Francisco, Califórnia, consultor Wilson, Ihrig & Associates, Inc.
3.114	hall do tipo dique acústico
3.115	portas semiacústicas
3.116	construção típica de uma janela de observação
3.117	reforço e atenuação das vibrações das máquinas em função da relação entre a frequência deletéria por estas produzidas e a frequência natural dos amortecedores de desacoplamento

3.118	desacoplamento acústico das estruturas horizontais e verticais de um recinto
3.119	tempos de reverberação antes do tratamento, a figura ideal, e depois do tratamento
3.120	sala técnica de estúdio LEDE – Live End Dead End (depois de Donald Davis)
3.121	tempos de reverberação antes do tratamento, a figura ideal, e depois do tratamento
3.122	Boston Symphony Hall – vista do palco
3.123	triffusor
3.124	IRCAM, Paris, com elementos trifusores
3.125	mufla típica
3.126	mufla de tubo internamente revestido
3.127	mufla de tubo retangular
3.128	mufla tipo atenuador cilíndrico à esquerda e atenuador retangular à direita
3.129	muflas para baixas frequências (A), para altas frequências (B) e para médias frequências (C)
3.130	cotovelo acústico com e sem revestimento interno
3.131	veneziana acústica
3.132	câmara plenum
3.133	ilustração de como ocorre a atenuação numa câmara plenum
3.134	câmara reativa típica
3.135	mufla de cavidade
3.136	mufla difusiva
3.137	mufla difusora
3.138	mufla reativa com braço de interferência
3.139	mufla reativa com vários braços de interferência
3.140	sistema típico de ar condicionado
3.141	torre de resfriamento utilizada em sistemas de ar condicionado

3.142	níveis de potência de som medidos na saída dos ventiladores empregados em sistemas de ar condicionado
3.143	curvas de ruído de três máquinas diferentes de ar condicionado
3.144	cabine para isolamento acústico de máquina de ar condicionado
3.145	desacoplamento com isoladores de mola
3.146	desacoplamento com isoladores de neoprene
3.147	isolador misto de mola e neoprene, Kinetics modelo FDS 1
3.148	desacoplamento com bloco de inércia
3.149	desacoplamento misto de máquinas de ar condicionado projetado para o auditório principal da diretoria executiva do Bradesco em Cidade de Deus, Osasco
3.150	bloco de inércia permitindo que os suportes fiquem alinhados com o centro de inércia
3.151	curva de 90 graus à esquerda e solução à direita
3.152	diferentes maneiras de desacoplar acusticamente os dutos dos sistemas de ar condicionado
3.153	formas convencional (acima) e recomendada (abaixo) de fixar dutos visando redução das vibrações
3.154	desacoplamento dimensional de duto de ar condicionado com uso de luvas e couro – projeto para Bradesco – Diretoria Executiva, Cidade de Deus, Osasco
3.155	atenuação obtida com atenuadores absorvedores rígidos com espessura de 25 mm
3.156	atenuador em linha formado por pequena câmara de expansão e material absorvedor disposto em camadas na direção do fluxo de ar
3.157	instalação empregando câmaras de expansão, também chamadas câmaras de atenuação
3.158	caminhamento mal planejado para as rotas de fluxo de ar numa instalação de sistema de ar condicionado
3.159	caminhamento da figura 3.218 modificado para eliminar os “caminhos” de

	comunicação indesejados e assinalados com setas vermelhas
3.160	grelha convencional à esquerda e grelha convencional redesenhada para melhor difusão
3.161	grelha redutora de turbulência com vias de velocidades diferentes
3.162	grelha especialmente desenhada para atenuar ruídos de baixas frequências

CAPÍTULO 4

FIGURA	DESCRIÇÃO
4.1	mp3 players - em cima, da esquerda para a direita: Archos Jukebox, 20 GB, Creative Labs Nomad 128 MB e Creative Labs Nomad Jukebox 20 GB, em baixo, da esquerda para a direita: Apple iPod 20 GB, Panasonic SV-SD80 64 MB e Samsung YP-30S Yepp 64 MB
4.2	iPhone 6
4.3	A - “transmissor líquido” de Graham Bell e B – microfone a carvão primitivo
4.4	cápsula lacrada típica
4.5	
4.6	padrão polar figura de oito e análise de situação com dois pontos, um de cada lado do diafragma
4.7	representação espacial da captação figura de oito e respectivo padrão polar
4.8	superposição dos padrões onidirecional e figura de oito, resultando o padrão cardióide
4.9	princípio de funcionamento dos microfones cardióide dotados de dispositivo capaz de impor atraso aos sons
4.10	representação espacial da captação cardióide e respectivo padrão polar
4.11	padrões polares cardióides de ordens diferentes
4.12	representação espacial da captação sepercardióide e respectivo padrão polar
4.13	representação espacial da captação hipercardióide e respectivo padrão polar
4.14	padrão polar subcardióide
4.15	microfone Neumann TLM 170R
4.16	seletor de padrão de captação do microfone Neumann TLM 170R
4.17	circuitação do microfone Neumann TLM 170R
4.18	princípio da interferência empregada em microfones
4.19	microfone RCA modelo MI-10006A

4.20	microfone Neumann modelo KMR 82i
4.21	padrões polares @ 1.000 Hz e @ 8.000 Hz do microfone Neumann KRM 82i
4.22	
4.23	microfone montado em refletor parabólico
4.24	elemento gerador de bobina móvel
4.25	microfone “vintage” RCA modelo 44-BX
4.26	ideia de montagem de elemento gerador dinâmico de fita
4.27	microfone dinâmico de fita Beyerdynamic, modelo M130
4.28	elemento gerador condensador
4.29	elemento gerador condensador
4.30	pré-amplificador de microfone condensador usando transistor JFET
4.31	pré-amplificador valvulado de microfone
4.32	polarização CC para microfone condensador
4.33	circuitação típica para provimento de alimentação fantasma
4.34	circuitação típica para provimento de alimentação AB
4.35	microfone Neumann M149, com ênfase para o tamanho do diafragma
4.36	circuitação típica de microfone condensador RF
4.37	circuitação típica de microfone condensador FR tipo Amplitude Modulada
4.38	microfone Sennheiser MKH 800 P48
4.39	cápsula eletreto comum
4.40	microfone CAD e100 ²
4.41	microfone de mão
4.42	microfone de lapela
4.43	microfone captando onda direta e onda refletida e efeito resultante, conhecido como efeito filtragem pente
4.44	mike mouse, originalmente proposto pela ElectroVoice
4.45	microfone arranjado para evitar captação de sinais refletidos

4.46	microfones de superfície
4.47	microfones PZM
4.48	métodos de aumentar a diretividade dos microfones PZM, (A) aumento de diretividade por absorção acústica, (B) aumento do Q do microfone de 2 para 4, (C) aumento do Q do microfone de 2 para 8 e (D) e (E) outras formas aumento de diretividade dos microfones PZM
4.49	microfone de cabeça
4.50	microfones próprios para captação de instrumentos musicais
4.51	microfone supressor de ruídos Sennheiser MD425
4.52	microfone com haste pescoço de ganso TOA modelo DM-524S
4.53	microfone com saída balanceada
4.54	microfone com saída não balanceada
4.55	curva de resposta de frequência de microfone
4.56	ilustração do efeito proximidade, típico de microfones cardióide
4.57	princípio básico de transmissão e recepção de microfone sem fio
4.58	atitude de um detector de contagem de pulsos
4.59	como acontece a recepção por vias múltiplas
4.60	A - técnicas de recepção com diversidade para microfones sem fio - diversidade com comutação de antena de fase invertida, B - técnicas de recepção com diversidade para microfones sem fio - diversidade com comutação de duplo receptor e C - técnicas de recepção com diversidade para microfones sem fio – diversidade com comutação de rádio
4.61	mapa para seleção de microfones
4.62	frequências de intermodulação dispostas graficamente
4.63	tela do software WR-G33WSW de ajuda na coordenação de frequências
4.64	mixer elementar
4.65	mixer estereofônico elementar
4.66	mixer valvulado RCA dos anos 30
4.67	cena do cotidiano dos estúdios da Radio City da NBC em 1938

4.68	o legendário mixer 25A da Western Electric
4.69	o mixer 250A da Altec, sucessor do 25A
4.70	mixer circa 1967
4.71	diagrama de blocos de mixer de 16 canais
4.72	conectores de entrada típico de muitos mixers
4.73	seletor de entrada (INPUT 1), e à sua esquerda um LED verde para sinalizar que o microfone está selecionado e o LED amarelo para sinalizar que a linha é que está selecionada
4.74	conector Neutrik, combo series, modelo NCJ5FI-H
4.75	configurações de circuitação do conector Neutrik, combo series, modelo NCJ5FI-H
4.76	tecla de bypass do equalizador
4.77	teclas de endereçamento de mixer
4.78	tecla solo de um mixer convencional
4.79	régua de canal típica de um mixer convencional
4.80	típica régua de subgrupo de mixer convencional
4.81	régua típica de master de saída de mixer convencional
4.82	arquitetura de uma matriz de áudio
4.83	matriz de áudio com duas configurações diferentes de entradas e saídas
4.84	mixer de microfone com 4 canais, Shure, modelo SCM268
4.85	mixer estereofônico Rane, modelo SM82S
4.86	mixer automático Dan Dungan, modelo E-1
4.87	ilustração do conceito de VCA – Voltage Controlled Amplifier
4.88	canal de entrada sem VCA, à esquerda, e com VCA, à direita
4.89	agrupamento VCA
4.90	duas voltagens distintas controlando o mesmo VCA
4.91	arquitetura elementar de um mixer digital
4.92	mixer digital Yamaha O2R96

4.93	mixer digital SSL Live, model L500 Plus
4.94	superfície de controle 24 Pro Tools
4.95	grupo dos processadores de sinais, por categoria de processamento
4.96	característica de transmissão dos filtros passa baixas
4.97	característica de transmissão dos filtros passa altas
4.98	circuito ressonante série
4.99	característica de transmissão dos filtros passa bandas
4.100	circuito ressonante paralelo
4.101	característica de transmissão dos filtros rejeita bandas
4.102	circuito com filtros passa baixas e passa altas, variáveis
4.103	característica de transmissão do circuito da figura 4.102
4.104	circuito de controle de tom Baxandall
4.105	características de transmissão do circuito de controle tonal Baxandall da figura 4.104
4.106	circuitos de filtros ressonantes dos tipos peak e dip e correspondentes características de transmissão
4.107	diferentes características de transmissão dos filtros peak e dip
4.108	frequências de corte dos filtros shelving e passa bandas
4.109	frequências de corte dos filtros rejeita bandas
4.110	banda passante, frequências de corte e largura de banda de um filtro passa bandas
4.111	características de transferência de filtros de 1 oitava, de 1/3 de oitava, e de 1/10 de oitava
4.112	ilustração do efeito ringing que um filtro de banda muito estreita apresenta ao processar um transiente
4.113	rotação de fase de um filtro de qualidade
4.114	características de transferência para filtros de Q não constante (esquerda) e de Q constante (direita)
4.115	combinação de filtros adjacentes

4.116	circuito de filtros compostos, e correspondente característica de transmissão
4.117	esquema simplificado de um filtro digital tipo FIR
4.118	esquema simplificado de um filtro digital tipo IIR
4.119	resposta de frequência do duplo controle tonal
4.120	equalizador tipo triplo controle tonal (A) leiaute do equalizador (esquerda) e (B) resposta de frequência do equalizador (direita)
4.121	equalizador de duplo controle tonal com seleção de frequências (A) leiaute frontal do equalizador (esquerda) e (B) resposta de frequência do equalizador (direita)
4.122	equalizador de triplo controle tonal com seleção de frequências (A) leiaute frontal do equalizador (esquerda) e (B) resposta de frequência do equalizador (direita)
4.123	equalizador de quatro bandas, (A) leiaute frontal do equalizador (esquerda), (B) resposta de frequência do equalizador (direita)
4.124	equalizador de gráfico de oitavas Rotel RE-2000
4.125	características de transmissão dos filtros de um equalizador gráfico de oitavas
4.126	equalizador gráfico de 1/3 de oitava, Klark Teknik, modelo DN360
4.127	características de transmissão dos filtros de um equalizador gráfico de 1/3 de oitavas
4.128	resposta elétrica de um equalizador gráficos de 1/3 de oitava com todos os seus filtros em posição de máxima atenuação
4.129	equalizador com um só filtro ajustado para reforçar 3,0 dB, A. equalizador convencional e B. equalizador de Q constante,
4.130	equalizador com um só filtro ajustado para reforçar 6,0 dB, A. equalizador convencional e B. equalizador de Q constante
4.131	equalizador com 3 filtros adjacentes ajustados para + 3,0 dB, - 3,0 dB, e + 3,0 dB, A. equalizador convencional e B. equalizador de Q constante
4.132	equalizador com 3 filtros adjacentes ajustados para + 6,0 dB, 0,0 dB, e + 6,0 dB, A. equalizador convencional e B. equalizador de Q constante

4.133	equalizador com 2 filtros adjacentes ajustados para + 3,0 dB, e + 6,0 dB, A. equalizador convencional e B. equalizador de Q constante
4.134	equalizador com 3 filtros adjacentes ajustados para + 6,0 dB, + 6,0 dB, e + 6,0 dB, A. equalizador convencional e B. equalizador de Q constante
4.135	equalizador paramétrico Klark Teknik, modelo DN405
4.136	equalizador transversal montagem em carcaça com padrão rack à esquerda e equalizador transversal montagem padrão “Eurocard” universal à direita
4.137	diagrama de blocos simplificado de um equalizador transversal típico
4.138	gama dinâmica acústica e gamas dinâmicas de vários equipamentos eletroacústicos
4.139	envelope dos sons
4.140	A. sinal antes da compressão, B. sinal após compressão e C. sinal comprimido com ganho restabelecido
4.141	ilustração de limiar e de taxa de compressão
4.142	tempo de ataque rápido e de tempo de ataque lento, ambos aplicados sobre onda quadrada
4.143	tempo de extinção rápido e de tempo de extinção lento, ambos aplicados sobre onda quadrada
4.144	ilustração de joelho hard e de joelho soft
4.145	diagrama básico de um compressor
4.146	características de resposta de frequência de um “de-essers” de compressor
4.147	compressor Klark Teknik, modelo DN500
4.148	o processamento limitação, A. Sinal antes da limitação e B. Sinal após limitação
4.149	ilustração de limiar e de taxa de compressão típicas de limitadores
4.150	compressor/limitador, com limiares e taxas de compressão independentes
4.151	formas de onda na entrada e na saída de um expensor
4.152	ilustração de taxa de expansão
4.153	formas de onda na entrada e na saída de um noise gate

4.154	ilustração de limiar, de taxa de expansão e de atenuação dos noise gates
4.155	sequência de tempos num noise gate
4.156	diagrama básico de um noise gate
4.157	possibilidade de redesenho dos envelopes dos sons com os noise gates
4.158	noise gate usado para sincronismo de instrumentos
4.159	ilustração de como obter a função ducking com um noise gate
4.160	aspecto do noise gate BSS, modelo DPR-522
4.161	formas de onda na entrada e na saída de um delayer
4.162	delayer digital Klark Teknik, modelo DN7204
4.163	formas de onda obtidas por combinação de um sinal direto com um sinal atrasado por um delayer
4.164	formas de onda obtidas na saída de uma unidade de reverberação
4.165	o sistema Dolby B e a compressão e expansão impostas aos sinais, (A) curvas de compressão dos sinais (codificação). A parte hachurada representa ruídos e (B) curvas de expansão complementar dos sinais (decodificação). A parte hachurada representa os ruídos
4.166	comparação das curvas dos redutores de ruído Dolby B e C, para sinais de baixo nível
4.167	os processos de compressão e de expansão dos redutores de ruído dbx
4.168	ilustrações do redutor de ruídos DNR, (A) diagrama de blocos simplificado e (B) urvas de atuação do filtro passa baixas do redutor de ruídos
4.169	Oxford de-clicker, da Sonnox
4.170	supressor de realimentação Sabine, modelo ADF2402
4.171	diagrama de blocos processador digital de efeitos
4.172	amplificador como quadripolo
4.173	amplificador com ganho fixo e atenuador
4.174	diagrama de blocos simplificado do amplificador Crown PSA-2
4.175	interligação entre um amplificador e uma carga
4.176	esquema elétrico simplificado de uma fonte de alimentação simétrica

	convencional
4.177	forma de onda na saída + da ponte retificadora, com o capacitor C1 fora do circuito
4.178	forma de onda na saída + da ponte retificadora, com o capacitor C1 ligado no circuito
4.179	ilustração de clipamento
4.180	ilustração de amplificador de dois canais preparado para operação em ponte
4.181	aspecto do amplificador TIP 3000 Ω 2 da Ciclotron
4.182	ilustração de especificação de banda passante
4.183	formas de onda nas saídas de um crossover de cinco vias
4.184	corte de um alto-falante eletrodinâmico
4.185	woofer, midrange e tweeter na caixa Palladium P-17B
4.186	
4.187	driver de compressão genérico
4.188	aspecto visual de alguns drivers de compressão diferentes
4.189	homem das cavernas usando as mãos para simular uma corneta
4.190	cornetas do passado bem remoto
4.191	Chacrinha com sua indumentária característica e a buzina que chegou a dar o nome a um de seus mais badalados programas de auditório
4.192	da esquerda para a direita: phonoautograph de Leon Scott 1985, fonógrafo de Edison 1887 e gramofone de Berliner 1888
4.193	corneta multicelular da famosa Victrola 350, com suas abas laterais de direcionamento
4.194	estúdio de gravação acústica típico utilizado de 1900 a 1925, no caso da Victor Talking Machine, evidenciando a corneta que captava o campo de som para a produção dos discos
4.195	corneta convencional e suas dimensões
4.196	cornetas sectorais nas partes superiores das caixas Altec model 15

4.197	corneta multicelular Altec Lansing
4.198	cornetas Cobraflex modelo IIB
4.199	linha Klipsch RF-7 II Reference Home Theater Floorstanding
4.200	corneta tractrix com formato renovado
4.201	ideia da corneta de diretividade constante e padrão típico de diretividade espectral
4.202	corneta de diretividade constante TOA LE-M124 à esquerda e CSP Professional model 39H à direita
4.203	corneta Manta-Ray
4.204	cornetas birradiais
4.205	adaptadores para que cornetas e drivers de compressão possam ser acoplados
4.206	guias de onda típicos para transporte de ondas de rádio de altas frequências
4.207	guia de onda com área da seção transversal variável
4.208	produtos bem conhecidos no mercado, equipados com os guias de onda OS (Oblate Spheroidal)
4.209	velocidade do som no mar em função da profundidade física
4.210	supertweeter cornetado
4.211	ilustração de cancelamento resultante de um woofer funcionando ao ar livre
4.212	caixa tipo suspensão acústica Phase Technology modelo PC60 CA
4.213	caixa acústica sistema refletor de graves
4.214	o comportamento do refletor de graves em baixas frequências
4.215	caixa com duto, Tannoy, referência de estúdio
4.216	caixa radiador passivo
4.217	caixa acústica cornetada modelo 815
4.218	caixa acústica cornetada de desenho dobrado, com cornetas e tweeter
4.219	da esquerda para a direita, esquema de subwoofer tipo bandpass de 4ª ordem, esquema de 6ª ordem e topologia Isobárica
4.220	resposta típica de uma caixa bandpass

4.221	cluster central composto de 6 cornetas coaxiais Altec modelo 9264A, dispostas em forma de elipse, instaladas pela Digital Tecnologia de Áudio e Vídeo Ltda. no Colégio São Gonçalo, Missão Salesiana do Mato Grosso, em Cuiabá
4.222	respostas polares da corneta M4 transformada em coaxial com a montagem interna de uma corneta EV HP 640, não operacional nesta etapa
4.223	respostas polares da corneta M4 transformada em coaxial com a montagem interna de uma corneta EV HP 640, agora operacional, ajustada com atraso de 20 microssegundos
4.224	aspecto de uma corneta coaxial moderna, Altec modelo DTS-645-8AF
4.225	colunas line source com 4 alto-falantes
4.226	colunas convencionais instaladas em igreja
4.227	pilhas DSP beam steering Iconyx, da Renkus Heinz
4.228	conjunto Bessel
4.229	caixa acústica tipo refletor de graves com corneta
4.230	caixa acústica tipo labirinto acústico
4.231	caixa acústica tipo linha de transmissão
4.232	medidor de impedância
4.233	circuito para medição do módulo da impedância - método da corrente constante
4.234	curva de impedância típica de um alto-falante
4.235	ângulo de cobertura
4.236	ilustração do direcionamento crescente com a frequência
4.237	cobertura cônica
4.238	ângulos de cobertura horizontal e vertical de uma corneta hipotética
4.239	representação espacial com pontos definidos pelos eixos X, Y e Z
4.240	valores típicos de Q para alguns falantes e caixas acústicas
4.241	ilustração gráfica do conceito de índice de diretividade
4.242	curvas de resposta do mesmo falante excitado com 0 dBW e com 20 dBW

4.243	efeito cumulativo da compressão dinâmica, num intervalo de 100 minutos
4.244	compressão dinâmica do falante JBL 2225H, operado com 0 dBW e com 20 dBW
4.245	compressão dinâmica do falante ElectroVoice EVM-15L, operado com 0 dBW e com 20 dBW
4.246	compressão dinâmica do falante ElectroVoice DL-15X, operado com 0 dBW e com 20 dBW
4.247	compressão dinâmica do falante Gauss 4883A, operado com 0 dBW e com 20 dBW
4.248	compressão dinâmica do falante Fostex L469, operado com 0 dBW e com 20 dBW
4.249	características de impedância de um mesmo falante operando a 0 dBW e a 20 dBW
4.250	técnica PWM – Pulse Code Modulation
4.251	amplificador PowerSoft de duas vias que usamos para energizar as caixas Line Array ElectroVoice empregadas no Gran Teatro Nacional de Lima, Peru
4.252	um dos controladores encontrados no mercado
4.253	tela de configuração do sistema DACSys II da TOA
4.254	tela de configuração detalhada do sistema DACSys II da TOA
4.255	ferramenta do sistema para ajuste de equalização
4.256	ferramenta do sistema para ajuste de compressão e de noise gating
4.257	ferramenta do sistema para ajuste de sistemas multivias ou que requeiram filtragem passa bandas
4.258	ferramenta do sistema para acerto de fases e equalização complementar
4.259	tela de programação das matrizes DX-0808 do sistema DACSys II da TOA
4.260	o DR128 da Allen Heath
4.261	palettes de configuração do DR128
4.262	tela de matriciação dos canais de entrada do DR128

4.263	tela de matriciação geral do DR128 – canais de saída
4.264	faders virtuais de entrada (esquerda) e de saída (direita)
4.265	caixa de diálogo relacionando palhetas com engenhos DSP
4.266	caixa de diálogo para seleção de palhetas de recursos
4.267	caixa de ferramentas dos recursos
4.268	tela para ajuste de delayer
4.269	ferramenta do sistema para ajuste de equalização gráfica
4.270	ferramenta do sistema para ajuste de equalização paramétrica
4.271	ferramenta do sistema para ajuste de compressão
4.272	ferramenta do sistema para ajuste da limitação
4.273	ferramenta do sistema para ajuste de noise gating
4.274	ferramenta do sistema para ajuste do efeito ducker
4.275	tela do DR128 para mostrar dados dos eventos programados
4.276	o mixer O3D da Yamaha
4.277	o Symnet da Symetrix
4.278	instalação que fizemos no teatro da FIESP, Avenida Paulista, São Paulo, enfatizando arranjo de quatro Symnet DSP 8x8
4.279	o painel traseiro do Symnet 8x8 DSP
4.280	amplificador distribuidor DA6, com 1 entrada e 6 saídas estéreo, ou 1 entrada e 12 saídas mono
4.281	chave seletora típica
4.282	tela de abertura do Symnet Designer
4.283	matriz separada nos blocos de entrada e de saída
4.284	alguns dos vários recursos já alocados
4.285	janela de programação do recurso compressor
4.286	janela de operação, não técnica
4.287	Symetrix, sistema SymNet EDGE, acima o painel frontal e abaixo o painel traseiro

4.288	cabo coaxial
4.289	par torcido com blindagem
4.290	trio torcido com blindagem
4.291	star-quad com blindagem
4.292	par torcido com blindagem de fita de cobre e dreno, miniaturizado
4.293	dois pares individualmente torcidos e blindados com fita, mais blindagem externa
4.294	multicabo de 8 vias
4.295	par torcido, por vezes chamado par trançado
4.296	linha telegráfica primitiva, construída com um condutor de cobre, aérea, e retorno pelo solo terrestre
4.297	linha telegráfica balanceada, construída com dois condutores de cobre, ambos aéreos
4.298	sinal diferencial com transmissão diferencial
4.299	ruídos de como comum à esquerda e de modo diferencial à direita
4.300	transposição da linha de comunicação
4.301	documento de concessão de patente a Alexander Graham Bell – cabos torcidos
4.302	correntes induzidas em direções opostas se cancelam
4.303	quando a fonte interferente está muito próxima do par interferido, um dos condutores é mais afetado do que o outro
4.304	interferência representada com voltagens ao invés de correntes
4.305	configurações mais comuns de cabos de rede – blindagem em cor vermelha
4.306	configuração típica de cabo UTP
4.307	cabos com quantidades de pares bem acima de 4 pares
4.308	conectores jaque para cabos de rede, com informação da categoria do cabo adequado
4.309	par torcido convencional e par torcido “bonded”
4.310	cabos com quantidades de pares bem acima de 4 pares

4.311	arranjo típico de rede sem fio com modem, roteador com fio e ponto de acesso
4.312	cabos irradiantes com 3 opções de diâmetro
4.313	arranjo típico de rede sem fio com modem, roteador com fio, ponto de acesso e cabo irradiante
4.314	condução de energia pela fibra ótica através de reflexões sucessivas
4.315	representação simplificada de um sistema completo de fibra ótica
4.316	caixa acústica esquerda de um arranjo de duas caixas utilizadas em palco por Roberto Carlos durante muitos anos, no lado esquerdo da figura; no lado direito um palco ao ar livre com grande quantidade de caixas acústicas monitoras de retorno
4.317	o mixer pessoal HRM-16 acima e a interface HDS-16 abaixo
4.318	painel traseiro da interface Furman HDS-16 com os conectores Centronics
4.319	in-ear customizado e moldado para atender a cada cliente pessoalmente
4.320	sistema de monitoração de palco sem fio baseado em in-ears
4.321	arquitetura básica do sistema de monitoração pessoal de palco AVIOM A360
4.322	painel frontal do mixer pessoal AVIOM
4.323	componentes do sistema de monitoração pessoal; de palco da Hearback Technologies
4.324	vista em perspectiva do mixer M48 à esquerda e painel traseiro à direita
4.325	duas telas de configuração do mixer pessoal M48
4.326	aspecto geral de um bastidor 19” Taunus, modelo Miracel, construído conforme norma DIN 41494, grau de proteção IP 55 (fornecido com espaço útil interno de 23 a 46 UR)
4.327	espaçamentos verticais entre furos dos trilhos de bastidor, padronizados pelo RS-310-C
4.328	circuito de baixa impedância (cerca de 20 Ω) desenvolvido por L. F. Cysne para alimentar várias cargas ligadas em paralelo
4.329	splitter de microfone Jensen JT-MB-E

4.330	o DN1248 Plus da Klark Teknik
4.331	aspecto de uma direct box Klark Teknik, modelo DN100
4.332	diagrama de blocos simplificado de uma interface profissional
4.333	esquema básico de uma matriz de áudio
4.334	matriz de comutação projetada para uso em áudio profissional, modelo 6400
4.335	matriz de comutação digital projetada para uso em áudio profissional, modelo NetMax N8000
4.336	vista parcial de rack, parte do sistema de reforço de som que instalamos no Gran Teatro Nacional, Lima, Peru
4.337	aspecto de um Patchbay
4.338	conectores de 3 contatos de 6,4 mm e de 4,45 mm (Bantam)
4.339	tipos diferentes de jaques telefônicos de três contatos
4.340	várias configurações de jaques PM/PAM, em suas representações gráficas
4.341	arranjo meio normal
4.342	arranjo jaque monitor
4.343	arranjo jaque monitor/meio normal
4.344	arranjo normal completo
4.345	representações elétricas de alguns arranjos de patchbays
4.346	aspecto dos cordões de conexão
4.347	dispositivo de roteamento baseado em seletores simples
4.348	pequena matriz de comutação com até 12 entradas e até 8 saídas, modelo MAV Plus 88A
4.349	extensor de áudio sobre cabo UTP para até 300 metros, model EXT-AUD-1000
4.350	centelhadores para uso em instalações de áudio

CAPÍTULO 5

FIGURA	DESCRIÇÃO
5.1	o campo aberto
5.2	ambiente fechado
5.3	padrão de reflexões
5.4	padrão de reflexões mais elaborado
5.5	como se formam o ITDG e o campo reverberante
5.6	padrões de reflexão (ETC) feitas com analisador TEF
5.7	fonte de som onidirecional
5.8	atenuação do som no ar, para vários graus de umidade relativa
5.9	campos direto e reverberante provenientes de um alto-falante onidirecional
5.10	atenuação do som em ambientes fechados. Campo direto, campo reverberante e campo total
5.11	campos direto e reverberante provenientes de um alto-falante instalado em sala acusticamente viva
5.12	campos direto e reverberante provenientes de um alto-falante instalado em sala acusticamente morta
5.13	atenuação do som em ambientes fechados, de acordo com características acústicas distintas
5.14	campos direto e reverberante provenientes de um alto-falante direcional
5.15	visualização da Distância Crítica DC
5.16	ambiente fechado com 1 alto-falante, e coeficiente de absorção da plateia bem superior ao coeficiente médio de absorção
5.17	ambiente fechado com 4 alto-falantes
5.18	visualização dos campos próximo, remoto, livre e reverberante
5.19	análise de um arquivo de impulso feita pelo Smaart, determinação do sinal direto
5.20	análise de um arquivo de impulso feita pelo Smaart, determinação da primeira reflexão e do ITDG
5.21	QRD's instalados na parede do fundo do Carnegie Hall, Nova Iorque

FIGURA	DESCRIÇÃO
6.1	distâncias D_0 e MPD
6.2	nomograma para determinação da
6.3	limiares de audição, de desconforto auditivo e de dor
6.4	percentagem da população norte-americana e respectivos graus de perda de audição
6.5	presbiculosidade masculina (A), e feminina (B)
6.6	resposta de frequência típica para espetáculos de rock
6.7	respostas de frequência naturais de instrumentos musicais e vozes humanas
6.8	ilustração de fonte única (ou sistema fly)
6.9	cluster central cobrindo toda uma plateia
6.10	diagrama polar vertical do falante da figura 6.9
6.11	cobertura isobárica de falantes, como proposto por Tom McCarthy em 1.978
6.12	localizações possíveis de fonte única em ginásio sem palco (esquerda), e com palco (direita)
6.13	Fonte única (A) ambiente fechado, e (B) ambiente aberto
6.14	maneira de aumentar a cobertura horizontal com projetores de som
6.15	modos incorreto (esquerda) e correto (direita) de montar os projetores de som em forma de hélice
6.16	Estádio Azteca, Copa do Mundo de 1970, falantes arranjados em forma de hélice, elevados exatamente acima do centro geométrico do campo
6.17	lentes acústicas vintage
6.18	lentes acústicas de tecnologia atual
6.19	desenho de minha lente refratora, para uso com driver de compressão
6.20	caixa acústica para jardim com formato de cogumelo, instalado no Epcot Center
6.21	empilhamento (array) de falantes e cornetas para aumento do Q do conjunto
6.22	combinação de projetores diferentes para melhorar a cobertura acústica de

	um local fechado
6.23	ilustração de fonte múltipla
6.24	Catedral de Amparo, à esquerda vista do forro com as duas caixas acústicas e, à direita, as duas caixas vista da parte acima do nível do forro
6.25	(A) Instalação industrial, (B) Pequeno campo de futebol, e (C) Campo de futebol de tamanho médio
6.26	ilustração da técnica falantes distribuídos
6.27	padrão quadrado de localização de falantes distribuídos, (A) variante extremidade com extremidade, (B) variante sobreposição mínima e (C) variante sobreposição de centro a centro
6.28	padrão hexagonal de localização de projetores distribuídos, (A) variante extremidade com extremidade, (B) variante sobreposição mínima e (C) variante sobreposição de centro a centro
6.29	pew back instalado na Catedral de St. Patrick, 5ª Avenida, Nova Iorque. à esquerda vista do interior do templo, ao centro um detalhe da instalação e à direita uma foto para dar ideia de relação entre assentos e unidades pew back
6.30	ilustração de combinação de fonte única com projetores distribuídos
6.31	fonte única dividida
6.32	efeito filtragem pente resultante do emprego da fonte dividida, para ouvintes situados nos locais A e B da plateia, para as distâncias indicadas na figura
6.33	exemplo de sistema com três canais. A fonte única central (ou canal central) para voz, e a fonte única dividida (ou canais laterais esquerdo e direito) para música com efeito estereofônico
6.34	indivíduo e fonte de som
6.35	efeito separação resultante de uma diferença de fase exagerada
6.36	ouvinte numa sala, recebendo simultaneamente os dois sinais das duas fontes de som
6.37	ouvinte numa sala, recebendo os dois sinais das duas fontes de som com diferença de tempo
6.38	atraso eletrônico de sinais capaz de promover diferença de fase para um

	ouvinte equidistante de suas fontes de fonte de som
6.39	situação típica em que o ouvinte ouve inicialmente o som direto, proveniente do orador, e de pois o som reforçado via projetor de som
6.40	situação de atraso com três falantes
6.41	maneira clássica de aplicar atraso de sinais a falantes distribuídos. Os círculos menores representam as coberturas acústicas dos falantes no plano de audição
6.42	maneira clássica de aplicar atraso de sinais a fonte única complementada por projetores distribuídos
6.43	critério de atraso Doak & Bolt de atraso versus nível
6.44	situação típica de atraso de sinais em ambientes abertos
6.45	situação atípica de aplicação de atraso de sinais em ambientes fechados, ilustrando como o atraso pode ser utilizado para correção de problemas localizados
6.46	esquema simplificado do aparelho fonador humano, 1. lábios, 2. dentes, 3. cavidade bucal, 4. fossa nasal, 5. corneto nasal superior, 6. corneto nasal médio, 7. corneto nasal inferior (esses 3 cornetos compõem a cavidade nasal), 8. véu palatino, 9. palato mole, 10. úvula, 11. língua, 12. musculatura da língua, 13. faringe nasal, 14. faringe oral, 15. epiglote, 16. laringe, 17. cartilagem da tiróide, 18. falsas cordas vocais, 19. ventrículo, 20. cordas vocais verdadeiras, 21. traqueia
6.47	produção de sons por vibração das cordas vocais
6.48	produção de sons sem vibração das cordas vocais
6.49	percentual de palavras densas e esparsas corretamente entendidas, como função da relação sinal/ruído, 1. Palavras esparsas, utilização frequente, 2. Palavras densas, utilização frequente, 3. Palavras esparsas, utilização eventual e 4. Palavras densas, utilização eventual
6.50	efeito da relação S/R no $AL_{CONS}\%$ para $D_2 = D_L$
6.51	$AL_{CONS}\%$ versus RT_{60} , para diferentes valores de D_2 , referidos a D_L
6.52	a acústica cornetada, com sonex aplicado nas superfícies internas da corneta para atenuação dos sinais refletidos

6.53	distribuição da energia de vozes humanas masculinas e femininas pelo espectro de áudio
6.54	pesos relativos das bandas de frequência para a formação do índice de articulação
6.55	comportamento do $AL_{CONS}\%$ com o corte de baixas frequências na resposta de frequência
6.56	comportamento do $AL_{CONS}\%$ com o corte de altas frequências na resposta de frequência
6.57	relação entre Índice de Articulação AI, várias técnicas de texto, e relação sinal/ruído, 1. Vocabulário limitado a 32 palavras fonemicamente balanceadas, 2. Sentenças conhecidas pelos panelistas, 3. Textos MRT (esta curva praticamente se confunde com as curvas obtidas com vocabulários limitados a 256 palavras fonemicamente balanceadas, e com sentenças apresentadas pela primeira vez aos panelistas), 4. Vocabulário com 1000 palavras fonemicamente balanceadas, 5. 1000 ou mais sílabas diferentes, todas sem sentido
6.58	a grade dos sinais de teste STI, com suas 98 combinações
6.59	a redução de modulação no sinal de voz provocado por ruídos e reverberações
6.60	as bandas e ponderações que compõem o ruído do sinal de teste RASTI
6.61	distribuição das frequências naturais de modulação da voz humana, e frequências discretas de modulação utilizadas no sinal de teste RASTI
6.62	a grade dos sinais de teste RASTI, com suas 9 combinações
6.63	caso típico de sistema de reforço, evidenciando as distâncias D_s , EAD, D_o , D_1 e D_2
6.64	resposta de frequência típica de um sistema bem alinhado, mas operando na região de “ringing”
6.65	exemplo de caso onde $D_s = EAD$, razão pela qual é preciso fazer $D_1 \geq 2 D_2$
6.66	utilização de microfones e falantes direcionais para aumento do PAG
6.67	diagrama de blocos de um sistema de sonorização hipotético, do tipo pictorial

6.68	circuitação de aparelho relativamente complexo
6.69	vida útil em termos de taxa de falhas versus tempo
6.70	cockpit da Atlantis em foto de 1999
6.71	esquema mostrando como ocorre a convecção natural de ar
6.72	ventoinha axial típica
6.73	ventilador centrífugo
6.74	ventoinha FFD modelo FFD12
6.75	ventoinha Delta modelo TFB1212GHE
6.76	ilustração de resfriamento por processos evaporativos
6.77	sólidos, gases e líquidos e conversões
6.78	sala com rack e amplificador nele montado – esquema de remoção de calor
6.79	fonte de mixer instalada separadamente em subrack
6.80	processadores dotados de grelhas de ventilação
6.81	amplificador com dissipador traseiro
6.82	amplificador Acustavoice, desenhado pelo engenheiro Luiz Fernando Otero Cysne
6.83	amplificador Crown International, modelo XLC 2800
6.84	amplificador Crest profissional, modelo CA18
6.85	amplificadores de potência equipados com grelhas de ventilação
6.86	variação de pressão em função da altura do rack, referenciada à abertura no centro da porta traseira
6.87	montagem passiva com amplificadores desprovidos de ventoinha
6.88	montagem passiva com amplificadores providos de ventoinha com admissão frontal
6.89	rack com porta traseira aletada ao longo de quase toda sua altura
6.90	montagem passiva com problemas que comprometem muito a refrigeração dos aparelhos
6.91	racks de equipamentos com todos os espaços entre aparelhos preenchidos com painéis cegos

6.92	rack equipado com ventoinhas no tampo superior
6.93	rack semelhante ao da figura 6.92, porém com admissão de ar feita por painel aletado imediatamente abaixo do painel frontal do amplificador inferior, e por abertura de admissão na parte mais baixa da porta traseira
6.94	montagem característica da estratégia #6
6.95	grelha de ventilação muito próxima da ventoinha de exaustão
6.96	sistemas com múltiplas ventoinhas para arrefecimento forçado em racks de equipamentos
6.97	curto-circuito térmico em montagem multiventoinhas, porque uma delas deixou de funcionar
6.98	sensor de corrente
6.99	arranjo de rack apropriado para salas com temperatura elevadas
6.100	variação de arranjo da figura 6.99
6.101	caso geral de rack com amplificadores de aspiração frontal
6.102	arranjo da figura 33 com realocização das ventoinhas de exaustão
6.103	dois racks de equipamentos cujos tampos superiores ficam praticamente encostados no forro
6.104	arranjo da figura 6.102 com ampliação das ventoinhas de exaustão
6.105	arranjo da figura 6.101 sem os painéis aletados
6.106	rack com amplificadores de aspiração traseira, ventoinha de insuflação no tampo superior e aletas superiores na porta traseira
6.107	arranjo sugerido pela Middle Atlantic à esquerda e minha proposta alternativa, à direita
6.108	alternativa que o autor apresenta para racks com amplificadores de aspiração traseira
6.109	vista de rack frontal com correntes laterais de arrefecimento
6.110	rack com equipamentos, ventoinha de insuflação colocada em painel imediatamente abaixo do painel frontal do amplificador inferior, e grelhas para a passagem de ar colocadas na parte superior da porta traseira
6.111	rack com equipamentos, ventoinha de insuflação e grelhas para saída do ar

	aquecido instalados em linha vertical
6.112	rack como na figura 6.111, sendo que a grelha do tampo superior do rack foi transferida para as partes mais elevadas da porta traseira
6.113	rack com ventoinhas de insuflação colocadas nas partes horizontais laterais da base com grelhas de saída de ar colocadas nas laterais do tampo superior
6.114	curvas de performance de ventilador e de ventoinha à esquerda, e curvas de performance de ventoinhas operando em paralelo e em série
6.115	o mais simples dos arranjos do método ativo híbrido da exaustão mais pressurização
6.116	o arranjo da figura 6.115 com reforço de ventoinhas de insuflação e de exaustão
6.117	arranjo da figura 6.116 com compartimentalização do rack
6.118	método ativo da exaustão mais pressurização para pés direitos reduzidos
6.119	método ativo da exaustão mais pressurização com ventoinhas de insuflação frontais
6.120	método ativo da exaustão mais pressurização com ventoinhas de insuflação frontais e ventoinhas de exaustão montadas nas partes elevadas da porta traseira
6.121	problema de recirculação que pode ocorrer quando uma ventoinha deixa de funcionar
6.122	sistema de arrefecimento de motor a combustão, com ênfase para o radiador
6.123	trocador de calor tipo fluxo cruzado
6.124	rack equipado com trocador de calor do tipo fluxo cruzado
6.125	rack da figura 6.124 assistido por tubulação para dirigir o ar frio para as partes baixas do rack
6.126	esquema de climatização de sala por típico sistema de condicionamento de ar
6.127	montagem da estratégia #1 com o concurso de sistema de condicionamento de ar na sala
6.128	montagem da estratégia #2 com o concurso de sistema de condicionamento

	de ar na sala
6.129	montagem da estratégia #4 agora ajudada por sistema de condicionamento de ar na sala
6.130	montagem da estratégia #5 assistida por sistema de condicionamento de ar na sala
6.131	montagem da estratégia #6 com ar da sala beneficiado por sistema de condicionamento de ar
6.132	montagem da estratégia #9 com sistema de condicionamento de ar na sala
6.133	montagem da estratégia #10 assistida por sistema de condicionamento de ar na sala
6.134	montagem da estratégia #11 com o concurso de sistema de ar condicionado na sala
6.135	montagem da estratégia #17 com o concurso de sistema de ar condicionado na sala
6.136	montagem da estratégia #38
6.137	esquema de montagem da estratégia #39, que é a estratégia #19 com acréscimo do sistema de condicionamento de ar na sala
6.138	montagem da estratégia #40
6.139	montagem da estratégia #41 com grelha de retorno do ar condicionado com localização estudada
6.140	montagem da estratégia #2 assistida por sistema de condicionamento de ar na sala
6.141	arranjo da estratégia #43
6.142	arranjo da estratégia #44
6.143	arranjo da estratégia #45
6.144	arranjo da estratégia #46
6.145	arranjo da estratégia #47
6.146	arquiteturas mais comuns de racks concernentes às correntes de convecção para efeitos de arrefecimento térmico
6.147	montagem típica da estratégia #48

6.148	montagem típica da estratégia #49
6.149	montagem típica da estratégia #50
6.150	montagem típica da estratégia #51
6.151	montagem típica da estratégia #52
6.152	montagem típica da estratégia #53
6.153	montagem típica da estratégia #54
6.154	montagem típica da estratégia #55
6.155	montagem típica da estratégia #56
6.156	montagem típica da estratégia #57
6.157	montagem típica da estratégia #58
6.158	montagem típica da estratégia #59
6.159	montagem típica da estratégia #60
6.160	montagem típica da estratégia #61
6.161	montagem típica da estratégia #62
6.162	montagem típica da estratégia #63
6.163	montagem típica da estratégia #64
6.164	montagem típica da estratégia #65
6.165	montagem típica da estratégia #66
6.166	montagem típica da estratégia #67
6.167	montagem típica da estratégia #68
6.168	montagem típica da estratégia #69
6.169	montagem típica da estratégia #70
6.170	montagem típica da estratégia #71
6.171	ideia de como é a arquitetura da estratégia #72
6.172	montagem típica da estratégia #73
6.173	montagem típica da estratégia #74
6.174	montagem típica da estratégia #75

6.175	montagem típica da estratégia #76
6.176	montagem típica da estratégia #77
6.177	montagem típica da estratégia #78
6.178	montagem típica da estratégia #79
6.179	montagem típica da estratégia #80
6.180	técnicas de acesso aos racks por ar frio trazido pelo piso
6.181	montagem típica da estratégia #81
6.182	montagem típica da estratégia #82
6.183	montagem típica da estratégia #83
6.184	montagem típica da estratégia #84
6.185	montagem típica da estratégia #85
6.186	montagem típica da estratégia #86
6.187	montagem típica da estratégia #87
6.188	montagem típica da estratégia #88
6.189	montagem típica da estratégia #89
6.190	montagem típica da estratégia #90
6.191	montagem típica da estratégia #91
6.192	montagem típica da estratégia #92
6.193	montagem típica da estratégia #93
6.194	montagem típica da estratégia #94
6.195	unidade de refrigeração PowerLean da Pentair Technical
6.196	rack equipado com solução de arrefecimento do Over IP Group
6.197	subrack de parede
6.198	racks montados em consoles e mesas
6.199	rack basculante Lowell modelo LWBR
6.200	corte explodido de rack metálico profissional, padrão 19 polegadas, e detalhe do perfil do trilho vertical de montagem
6.201	algumas bases diferentes para racks metálicos profissionais padrão 19

	polegadas
6.202	venezianos e respiros variados
6.203	tapadeiras adesivas e de fixação mecânica
6.204	coletânea de filtros de ar usados em sistemas de arrefecimento em áudio profissional
6.205	alguns organizadores de cabos para racks
6.206	infraestrutura construída de acordo com projeto do eng ^o Luiz Fernando O. Cysne num dos auditórios do complexo do Centro de Eventos Ribeirão Shopping
6.207	desenho com diferentes tipos de cabos (ligação balanceada para balanceada)
6.208	plano de face dos bastidores de um sistema
6.209	ecograma (esquerda) e reflectograma (direita)
6.210	Cysne e Anhert jantando em Berlin
6.211	igreja Santa Marina modelada com o EASE da Renkus-Heinz
6.212	vista do templo em perspectiva, com ampliação de 2,5 vezes
6.213	ficha de material introduzido na base de dados com os respectivos coeficientes de absorção acústica
6.214	cores livremente atribuídas a cada material de acabamento diferente
6.215	renderização da igreja, vista em perspectiva, com o observador situado do lado direito do templo, em posição bastante elevada
6.216	renderização da igreja, vista por um observador situado ao centro do templo, acima do palco, em posição bastante elevada
6.217	renderização da igreja, vista em perspectiva, com o observador situado do lado esquerdo do templo, em posição bastante elevada
6.218	renderização da igreja, com o observador situado no palco
6.219	tempos de reverberação para a igreja, antes do tratamento acústico
6.220	tempos de reverberação ideais para a igreja, objetivo do tratamento acústico

6.221	nesta renderização o ponto de observação é o mesmo da figura 6.75. O que é novo é a introdução das poltronas estofadas e as áreas dos planos de audição das pessoas
6.222	renderização como a da figura 6.81, com o ponto de observação deslocado para o lado esquerdo do templo. Aí estão as poltronas estofadas e as áreas dos planos de audição das pessoas
6.223	renderização como a da figura 6.217, sendo que agora ficam bem visíveis as paredes do fundo da igreja, renderizadas em tons de azul no térreo e de mostarda no primeiro pavimento
6.224	renderização com ponto de observação muito elevado
6.225	renderização com ponto de observação fora do espaço interior da igreja de modo a realçar a visibilidade do forro do templo
6.226	tempos de reverberação previstos para a condição de pós tratamento acústico
6.227	lado esquerdo: tempos de reverberação antes do tratamento na cor preta e tempos de reverberação ideais a obter, na cor verde, lado direito: as mesmas curvas desenhadas no lado esquerdo e mais a curva vermelha, dos Tempos de Reverberação que serão obtidos após tratamento acústico
6.228	balão de cobertura da pilha, vista lateral esquerda
6.229	balão de cobertura da pilha, vista lateral direita
6.230	balão de cobertura da pilha, vista frontal
6.231	balão de cobertura da pilha, vista superior
6.232	balão de cobertura da pilha, perspectiva vista pelo lado esquerdo
6.233	balão de cobertura da pilha, perspectiva vista pelo lado direito
6.234	balão de cobertura da pilha, vista lateral esquerda renderizada
6.235	balão de cobertura da pilha, vista frontal renderizada
6.236	balão de cobertura da pilha, vista superior renderizada
6.237	balão de cobertura da pilha, perspectiva vista pelo lado direito, renderizada
6.238	balão de cobertura 3D da pilha, com latitudes e longitudes isodinâmicas, com renderização

6.239	padrão de cobertura da pilha, isolinhas
6.240	janela de edição de caixa acústica
6.241	vista em perspectiva, vista lateral, vista frontal e vista superior. note que em todas elas aparecem as pilhas especificadas
6.242	zoom aplicado à vista em perspectiva. Veja como os detalhes das pilhas line array começam a ser fazer de forma muito mais clara e evidente
6.243	simulação do campo de som total para toda a plateia dos andares térreo e balcão
6.244	simulação de resposta de frequência média para um observador situado na área A1 (lateral esquerda da nave), para o espectro de 125 Hz a 8 kHz
6.245	simulação de inteligibilidade da palavra para toda a plateia no pavimento térreo e no balcão (arco inferior na figura)
6.246	simulação de inteligibilidade da palavra para toda a plateia no pavimento térreo e no balcão, com os índices assinalados na parte direita da figura
6.247	simulação de inteligibilidade da palavra para toda a plateia no pavimento térreo e no balcão, apresentada com renderização
6.248	variação de $AL_{CONS}\%$ em função de frequência, para um observador arbitrariamente localizado na área A1 da plateia
6.249	distribuição dos índices $AL_{CONS}\%$ pela plateia
6.250	variação de RASTI em função de frequência, para um observador arbitrariamente localizado na área A1 da plateia
6.251	distribuição dos índices RASTI pela plateia
6.252	tempos de chegada dos sinais diretos de algumas caixas acústicas @ 1 kHz, tomado como referência um determinado ponto de prova
6.253	simulação da resposta de frequência para ponto de prova bem afastado das caixas acústicas @ 1 kHz
6.254	simulação da distância crítica (C_D) numa renderização 3D, sendo que a referência cromática à direita da figura mostra como se processa a distribuição
6.255	variação da distância crítica (C_D) em função da frequência

6.256	distribuição da distância crítica (C_D) pela plateia
6.257	simulação das reflexões médias no interior da igreja, havidas por um período de 1,5 segundo contado do momento da chegada do sinal direto
6.258	Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, com raios de baixa densidade, mostrando a excelente distribuição de energia pelo recinto
6.259	Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, com raios de mais baixa densidade ainda que a figura anterior, mas também evidenciando a excelente distribuição de energia pelo recinto
6.260	Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, com raios de média densidade, ainda com excelente distribuição de energia pelo recinto
6.261	Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, com raios baseados em quantidade contida de reflexões, prevalecendo a excelente distribuição de energia pelo recinto
6.262	Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, com raios de elevada densidade sem limite de reflexões, com distribuição de energia absolutamente homogênea por todo o recinto
6.263	Gran Teatro Nacional de Lima, Peru, com raios de elevadíssima densidade sem limite de reflexões, com distribuição de energia absolutamente homogênea por todo o recinto
6.264	duplo nomograma para cálculo do ALCONS% com e sem a influência da relação sinal/ruído
6.265	gráfico do gênero Impact Chance
6.266	modelamento de espaço no CADP2
6.267	cálculos de LPT (Level/Time/Path) feitos pelo CADP2
6.268	ecograma LPT
6.269	gráficos de tempo de reverberação
6.270	distribuição do L_p através de um plano escolhido
6.271	relação campo direto/campo reverberante
6.272	inteligibilidade - AL_{CONS} %
6.273	inteligibilidade - AI

6.274	dados de diretividade de uma corneta acústica, como apresentados pelo AcoustaCADD
6.275	exemplo de espaço modelado no AcoustaCADD
6.276	interface de comunicação do Modeler
6.277	interface de comunicação do Modeler
6.278	exemplo de espaço modelado no AcoustaCADD
6.279	espaço modelado no CATT-Acoustic
6.280	tela do calculador de PAG e NAG, caso de fonte única
6.281	tela do PAG-NAG Calculator, caso de falantes distribuídos
6.282	tela do PAG-NAG Calculator, caso de “venue” tipo auditório
6.283	medições eletroacústicas nas pontas do seu dedo
6.284	aspecto de tela mostrando resposta de frequência (acima) e resposta de impulso (abaixo), no modo
6.285	amplificador, seletor e bloco de testes Modelo 5 da Audiomática
6.286	resposta de frequência (curva preta), DHT (curva laranja) e harmônicas (curva verde)
6.287	resposta de frequência (curva laranja), impedância (curva verde) e rub&buzz (curva preta)
6.288	teste CEA com FFT de banda estreita
6.289	RTA com banda de 1/3 de oitavas
6.290	função transferência em tempo real
6.291	função multi testador com gerador de varredura programável
6.292	impedância de alto-falante e parâmetros Thiele-Small
6.293	displêi de diagrama polar com cálculos auxiliares de relação de diretividade e de índice de diretividade
6.294	balão 3D com controle interativo de prato giratório
6.295	decaimento espectral cumulativo (curvas waterfall)
6.296	análise wavelet
6.297	análise de L_{EQ}

6.298	medição de parâmetros acústicos conforme Padrão ISO 3382 Acústica – Medições de Parâmetros Acústicos em Salas
6.299	medições de distorções versus potência de saída
6.300	CLIO Pocket com todos os seus componentes
6.301	CLIO Pocket operando com PC notebook
6.302	tela de plug-ins do Aurora
6.303	o modelamento de um espaço típico, feito como na maioria dos demais programas que permitem o modelamento de espaços abertos e fechados
6.304	o mesmo espaço da figura anterior, mostrando um ecograma como visto de uma perspectiva da parte posterior do teatro
6.305	estimativas de tempo de reverberação e correspondentes decaimentos
6.306	estimativas de tempos de reverberação por bandas de oitavas
6.307	estimativa de distribuição de energia para afastamento progressivo da fonte sonora
6.308	tela do LMs mostrando curva de SPL versus frequência e fases, com barra de ferramentas e subtela contendo dados importantes relacionados com a curva principal
6.309	é possível detalhar as curvas de SPL versus frequência praticamente sem limites
6.310	também é possível visualizar as curvas de SPL versus frequência de muitas maneiras
6.311	as curvas de impedância e de fase podem ser levantadas com facilidade para falantes isolados e para os mesmos instalados em gabinetes, como mostra a figura
6.312	como programa altamente especializado em falantes, o LMS levanta com muita velocidade as respostas polares de falantes para várias bandas de frequências
6.313	tela típica do LEAP, mostrando resposta de frequência com o microfone colocado no eixo da caixa acústica, e resposta de fase
6.314	gráfico mostrando os modos normais, tangenciais, oblíquos numa sala, e

	todos juntos
6.315	visual de um sistema, como desenhado num ShuttleCad
6.316	tela de abertura do SSDW da Synergetic Audio Concepts
6.317	tela do SSDW com cálculos de inteligibilidade
6.318	localizações físicas (à esquerda) e respostas gráficas (à direita)
6.319	sala exemplo para exercício com o programa DaVinci
6.320	cabeçalho do DaVinci sem o volume da sala na célula vermelha
6.321	cabeçalho do DaVinci com o volume da sala na célula vermelha
6.322	instruções de uso do programa DaVinci
6.323	coeficientes de absorção de meus painéis acústicos e de materiais de construção, com células destinadas a contas feitas automaticamente pelo programa DaVinci
6.324	continuação dos coeficientes de absorção de materiais de construção, também aqui com células destinadas a contas feitas automaticamente pelo programa DaVinci
6.325	resumo dos cálculos de RT_{60} feitos automaticamente pelo programa DaVinci e correspondente representação gráfica
6.326	planilha para determinação dos RT_{60} ideais em função do tamanho da sala e do programa musical predominante previsto para a mesa
6.327	gráfico com os RT_{60} reais (retângulos roxos) e com os RT_{60} ideais (linha vermelha)
6.328	recálculo do programa DaVinci para a inserção de $10m^2$ de painéis absorsores PAR125
6.329	recálculo do programa DaVinci para a inserção de mais $10m^2$, agora de painéis absorsores PAREA
6.330	recálculo do programa DaVinci para a inserção de mais $10m^2$, agora de painéis PAD4K
6.331	recálculo do programa DaVinci para a inserção de mais $6m^2$, de painéis absorsores PAD1K
6.332	recálculo do programa DaVinci para a inserção de mais $5m^2$, de painéis

	absorsores PAD125
6.333	recálculo do programa DaVinci para a inserção de mais 2m ² , agora de painéis absorsores PAD500 e mais 2 m ² de painéis PAD2K
6.334	recálculo do programa DaVinci para a supressão de 45m ² de alvenaria, área essa que será ocupada pelos painéis acústicos
6.335	RT ₆₀ reais (curva preta), com os RT ₆₀ ideais (curva azul) e valores a obter com o tratamento acústico (círculos verdes)
6.336	Galileu - conferência dos cálculos de RT ₆₀
6.337	Galileu - preenchimento de dados de cobertura acústica do recinto
6.338	Galileu - preenchimento de outros parâmetros de projeto (distância crítica, NRA, relação sinal/ruído, EAD, etc.)
6.339	Galileu - preenchimento de outros parâmetros de projeto (distância crítica, NRA, relação sinal/ruído, EAD, etc.)
6.340	cálculos do programa Galileu de parâmetros relacionados com o controle da microfonia
6.341	Galileu - conferência de a microfonia está sob controle porque nenhuma das condições de controle da estabilidade da microfonia foram violadas
6.342	Galileu - cálculo da potência elétrica necessária
6.343	microfones da linha de testes da Earthworks
CAPÍTULO 7	

FIGURA	DESCRIÇÃO
7.1	cluster com elevado grau de customização, implantado no Estádio Asteca, México
7.2	pilha de falantes iguais entre si
7.3	indivíduos igualmente afastados de uma pilha vertical de falantes, A. no eixo principal da pilha e B. no mesmo plano vertical de A, mas angulado em relação ao eixo principal
7.4	FLI e FLS dispostas no espectro de frequências de áudio
7.5	dois falantes montados lado a lado
7.6	sucessão de compressões e rarefações provocadas por um falante radiando hemisfericamente
7.7	sucessão de compressões e rarefações provocadas por um falante irradiando hemisfericamente, montado ao lado de outro
7.8	matriz Bessel
7.9	pilha Bessel com 5 falantes
7.10	ligações elétricas para pilha Bessel com 5 falantes
7.11	ligações elétricas para pilha Bessel com 7 falantes
7.12	arranjo de uma matriz Bessel com 3 pilhas horizontais de 5 falantes cada uma
7.13	fatores de ponderação para uma matriz Bessel 5x5
7.14	fatores de ponderação para uma matriz Bessel 7x7
7.15	dois gabinetes empilhados, o de baixo sem sua tampa traseira
7.16	pilha vertical à esquerda e pilha horizontal à direita
7.17	fatores de ponderação para uma matriz Bessel 7x7
7.18	acima à esquerda: pilha com 2 subs, acima à direita: pilha com 4 subs, em baixo à esquerda: pilha com 8 subs e em baixo à direita: pilha com 16 subs
7.19	pilha C – arranjo Linha Broadside
7.20	fila horizontal em linha – arranjo Linha Broadside
7.21	fila horizontal em leque – arranjo Linha Broadside

7.22	fila horizontal em escada – arranjo Linha Broadside
7.23	configuração popular de subwoofers, usualmente encontrada abaixo de palcos
7.24	resultados acústicos da configuração da figura 7.23
7.25	configuração da figura 7.23, agora com espaçamento “D” entre os subwoofers
7.26	resultados acústicos da configuração da figura 7.25 com D=0,5m
7.27	resultados acústicos da configuração da figura 7.25 com D=1,0m
7.28	resultados acústicos da configuração da figura 7.25 com D=3,0m
7.29	resultados acústicos da configuração da figura 7.25 com D=6,0m
7.30	arranjo de 6 subwoofers em leque, angulações relativas 12°
7.31	resultados acústicos da configuração da figura 7.30
7.32	subwoofers arranjados em escada vertical
7.33	resultados acústicos da configuração da figura 7.32
7.34	resultados acústicos da pilha de 4 subwoofers sem formatação de feixes
7.35	resultados acústicos da pilha de 4 subwoofers com formatação de feixes
7.36	pilhas de 12 subwoofers com técnica especial de formatação de feixes
7.37	resultados acústicos da pilha da figura 7.36
7.38	padrão polar de radiação 3D de pilha Linha Gradiente com apenas 2 subwoofers
7.39	padrão polar de radiação de pilha Linha Gradiente com pilha de subwoofers
7.40	combinação de Formatação de Feixes com Linhas Gradiente para redirecionamento do feixe
7.41	arranjo simples de dois subwoofers, o de cima selado e o debaixo em gabinete tubular aberto dos dois lados
7.42	detalhe da formação da diretividade cardióide, partindo do arranjo da figura 7.41
7.43	arranjo de dois subwoofers como alternativa para o arranjo da figura 7.41
7.44	padrões polares de radiação do arranjo da figura 7.43

7.45	arranjo da figura 7.43 com redirecionamento de um dos subwoofers
7.46	comportamento acústico frontal e traseiro do arranjo da figura 7.43
7.47	fatores de ponderação para uma matriz Bessel 7x7
7.48	fatores de ponderação para uma matriz Bessel 7x7
7.49	Linha Gradiente com pilha vertical dupla
7.50	Linha Gradiente com pilha vertical tripla
7.51	distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo P2
7.52	distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo P3
7.53	arquitetura comum de Linha Gradiente com orientação formatável
7.54	distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.53
7.55	fila dupla de três subwoofers
7.56	uma extensão horizontal do arranjo da figura 7.55
7.57	arranjo de 4 subwoofers consoante técnica Endfire
7.58	distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.57
7.59	fatores de ponderação para uma matriz Bessel 7x7
7.60	distribuição de campo acústico e grau de diretividade e resposta de frequência do arranjo da figura 7.59
7.61	arranjo Endfire Log Periódico com 4 subwoofers
7.62	campo acústico e resposta de frequência do arranjo Endfire Log Periódico da figura 7.61
7.63	arranjo Endfire Log Periódico Composto, formado por 12 subwoofers
7.64	distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo Endfire Log Periódico Composto da figura 7.63
7.65	arranjo de 4 subwoofers consoante técnica Quasi Endfire
7.66	distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo Quasi Endfire da figura 7.65
7.67	arranjo Quasi Endfire Composto

7.68	resultados acústicos do arranjo Quasi Endfire Composto da figura 7.67
7.69	arranjo Quasi Endfire Log periódico
7.70	resultados acústicos do arranjo Quasi Endfire Log Periódico da figura 7.69
7.71	arranjo de subwoofers consoante técnica Quasi Endfire Log Periódico Composto
7.72	resultados acústicos do arranjo Quasi Endfire Log Periódico Composto da figura 7.71
7.73	arranjo de 6 subwoofers que serão organizados conforme técnica Quasi Endfire Log Periódico Composto
7.74	arranjo de subwoofer consoante técnica Linha Delta
7.75	esquema de interligações do arranjo da figura 7.74
7.76	campo acústico e resposta de frequência do arranjo Linha Delta das figuras 7.74 e 7.75
7.77	arranjo Linha Delta Composto com 4 andares de subwoofers
7.78	distribuição de campo acústico e resposta de frequência do arranjo Linha Delta Composta da figura 7.77
7.79	arranjo de subwoofers em Linha Delta Composta
7.80	arranjo de 2 subwoofers em técnica LR encostados um ao outro
7.81	campo acústico e resposta de frequência do arranjo de 2 subwoofers em técnica LR encostados entre si como na figura 7.80
7.82	arranjo de 2 subwoofers em técnica LR com afastamento D
7.83	campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com D = 1 metro
7.84	campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com D = 2 metros
7.85	campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com D = 4 metros
7.86	campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com D = 6 metros
7.87	campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com D =

	8 metros
7.88	campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com D = 10 metros
7.89	campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com D = 12 metros
7.90	campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com D = 15 metros
7.91	campo acústico e resposta de frequência do arranjo da figura 7.82 com D = 20 metros
7.92	dois subwoofers arranjados consoante técnica LR com distância de 15 metros
7.93	campo acústico e resposta de frequência para o arranjo de 2 subwoofers LR como na figura 7.92
7.94	fatores de ponderação para uma matriz Bessel 7x7
7.95	campo acústico e resposta de frequência para o arranjo de 2 subwoofers LR como na figura 7.94
7.96	arranjo de 8 subwoofers técnica LR com espaçamento de 15 metros
7.97	campo acústico e resposta de frequência para o arranjo de 8 subwoofers LR como na figura 7.96
7.98	arranjo de 8 subwoofers técnica LR com espaçamento de 15 metros e angulação de 30°
7.99	campo acústico e resposta de frequência para o arranjo de 8 subwoofers LR como na figura 7.98
7.100	corneta acústica SC-1200A, assistida por 24 drivers TU-50S
7.101	colunas de voz
7.102	relações de diretividade: 1. abaixo, um só falante de 4", 2. no centro, coluna com 4 falantes de 4" e 3. acima, coluna com 8 falantes de 4"
7.103	ilustração da formação da frente de onda coerente
7.104	perda com a distância na frente de onda coerente
7.105	vista frontal da guia de onda ADC (Acoplador de Difração Coerente)

	projetado pelo engenheiro Luiz Fernando Otero Cysne
7.106	subwoofer com padrão cardióide
7.107	perda com a distância: sistema convencional versus linearray
7.108	capacidade de articulação dos elementos de um linearray
7.109	pilhas line array tipos R, C, S, J e M
7.110	line array tipo R
7.111	line array tipo C
7.112	line array tipo S
7.113	line array tipos J1 e J2
7.114	line array tipo M, variante R-C-R
7.115	line array tipo C com angulações totais de 9° e de 24°
7.116	angulações de base, 0° (A) e 15° (B)
7.117	pilha inclinada e pilha com atrasos sucessivos para simular inclinação
7.118	pilha linearray mais baixa e pilha linearray mais elevada
7.119	sobreposição de respostas de vias adjacentes
7.120	sobreposições esperadas com os filtros de 4ª
7.121	ginásio tipo arena - arquibancada
7.122	ginásio tipo arena – cadeiras de pista
7.123	ginásio tipo arena – arquibancada + cadeiras de pista
7.124	espaço com plateia bem irregular
7.125	o famoso Concertgebouw, Amsterdam
7.126	o espaço da figura 7.125 com a plateia vista de uma posição pouco abaixo de onde ficaria o canal central
7.127	a geometria da plateia versus geometria da cobertura acústica da pilha
7.128	a projeção da cobertura acústica da pilha sobre a plateia
7.129	comparação dos dois trapézios
7.130	triângulos vermelhos indicando excesso de cobertura e triângulos verdes mostrando áreas com cobertura deficiente

7.131	a cobertura ideal fatiada
7.132	cornetas assimétricas da Altec, linha VI (Vari Intense Technology) não fabricadas mais atualmente
7.133	raios de sol, 100 Hz à esquerda, 1,6 kHz ao centro e 4,0kHz à direita
7.134	lóbulos laterais e outros
7.135	excursão do cone do falante JBL 2241H energizado @ 1.200 watts
7.136	mudança de direção do eixo principal de um sistema line array
7.137	modificação do padrão de dispersão de um sistema line array
7.138	divisão do lóbulo frontal em dois lóbulos secundários
7.139	seções diferentes de cobertura acústica com seções lineares diferentes
7.140	local da plateia sujeito a recepção de ondas acústicas por vias múltiplas
7.141	fase linear de Filtro FIR em verde e fase com rotação de 360° de filtro convencional
7.142	filtros com várias rampas
7.143	resposta acústica medida e seu conjugado
7.144	convolução empregada no filtro FIR
7.145	JBL LAC II à esquerda e ElectroVoice LAPS II à direita
7.146	a típica Resposta de Impulso do domínio do Tempo
7.147	a mesma resposta de impulso da figura 7.146, agora no domínio da frequência
7.148	uma das janelas de comunicação do CATT GratisVolver
7.149	aparência típica do PureVerb, da Suite FIRverb
7.150	tela de abertura do MultiVolver
7.151	screenshot do rePhase da Sourceforge
7.152	outro screenshot do rePhase da Sourceforge

CAPÍTULO 8

FIGURA	DESCRIÇÃO
8.1	interligação sequencial de 5 aparelhos formando um sistema
8.2	interligação balanceada entre dois aparelhos de áudio
8.3	interligação não balanceada entre dois aparelhos de áudio
8.4	representação gráfica da impedância
8.5	arranjo para medição de impedância
8.6	outro arranjo para medição de impedância
8.7	modelo básico de ligação entre dois aparelhos de áudio
8.8	gráfico mostrando a transferência de energia da fonte para a carga, em função da relação Z_C/Z_F
8.9	filtros formados com as capacitâncias dos condutores do cabo de interligação, no caso da blindagem ligada somente do lado da carga
8.10	blindagem ligada somente do lado da fonte, evitando voltagens de modo comum sobre as capacitâncias do cabo, e consequentemente, o efeito da formação de filtros
8.11	representação de aparelho fonte transferindo energia para o aparelho carga através de um condutor mais terra
8.12	Circuito equivalente de uma simples blindagem de cabo de áudio
8.13	representação de aparelho fonte transferindo energia para o aparelho carga através de um condutor envolvido por blindagem, mais terra. A blindagem está aterrada apenas de um lado
8.14	representação de aparelho fonte transferindo energia para o aparelho carga através de um condutor envolvido por blindagem, mais terra. A blindagem está aterrada nas duas extremidades
8.15	interligações balanceadas e diferentes alternativas de ligação da blindagem
8.16	interligação de saída balanceada a transformador para entrada balanceada a transformador
8.17	interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletronicamente balanceada

8.18	interligação de saída balanceada a transformador para entrada eletronicamente balanceada
8.19	interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada balanceada a transformador
8.20	interligações de saídas eletrônicas não balanceadas para entradas eletronicamente balanceadas, e diferentes alternativas de ligações da blindagem
8.21	interligações de saídas eletronicamente balanceadas para entradas eletrônicas não balanceadas, e diferentes alternativas de ligações da blindagem
8.22	interligação de saída eletrônica não balanceada para entrada balanceada a transformador
8.23	interligação de saída eletrônica não balanceada para entrada eletronicamente balanceada
8.24	interligação de saída balanceada a transformador para entrada eletrônica não balanceada
8.25	interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com o terminal negativo da fonte aterrado do lado da carga
8.26	interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com o terminal negativo da fonte abandonado
8.27	interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com o terminal negativo da fonte aterrado do lado da fonte
8.28	interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com o terminal negativo da fonte aterrado do lado da carga
8.29	interligação de saída eletronicamente balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com o terminal negativo da fonte aterrado dos dois lados
8.30	transformador utilizado para balancear uma ligação mista
8.31	interligação de saída eletrônica não balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com os dois aparelhos possuindo terminais terra de carcaça
8.32	interligação de saída eletrônica não balanceada para entrada eletrônica não balanceada. Os dois aparelhos possuem terminais terra de carcaça, e a

	blindagem só é ligada do lado da fonte
8.33	interligação de saída eletrônica não balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com o terminal negativo da fonte abandonado e a blindagem só é ligada do lado da fonte
8.34	interligação de saída eletrônica não balanceada para entrada eletrônica não balanceada, com a carcaça da fonte não aterrada para evitar o elo de terra
8.35	modelo da interligação não terminada
8.36	modelo da interligação com impedâncias casadas
8.37	modelo da interligação subterminada
8.38	modelo da interligação do sistema bridged
8.39	modelo de cabo interligando dois aparelhos, com sua capacitância, indutância e resistência CC
8.40	entrada diferencial com amplificador operacional único
8.41	entrada balanceada verdadeira - modo corrente
8.42	entrada balanceada com duplo amplificador operacional - modo voltagem
8.43	entrada balanceada com amplificador operacional triplo
8.44	comportamento das RRM C das entradas eletronicamente balanceadas x desbalanceamentos das fontes
8.45	circuito equivalente de um transformador de entrada de linha
8.46	comportamento das RRM C das entradas eletronicamente balanceadas (curva inferior) e dos transformadores (curva superior) x desbalanceamentos das fontes
8.47	fontes referenciadas à terra
8.48	fontes ativas flutuantes
8.49	fontes flutuantes a transformador
8.50	fonte ativa flutuante operando com carga não balanceada
8.51	comportamentos da RRM C das fontes flutuantes ativas e a transformador, operando com cargas não balanceadas
8.52	atenuador tipo U, configuração balanceada

8.53	atenuador tipo π , configuração balanceada
8.54	duas caixas acústicas ligadas em paralelo
8.55	duas caixas acústicas ligadas em série
8.56	associação de caixas acústicas
8.57	primeira tentativa de interligar um sistema completo
8.58	primeiros cálculos dos níveis através do sistema
8.59	os níveis definitivos através do sistema, para maximização da relação S/R
8.60	divisor passivo de frequências
8.61	resposta de frequência de divisor passivo de frequências de N vias, com taxa de atenuação de $12,0$ dB/oitava
8.62	percentual de potência elétrica útil desperdiçado, em função de vários níveis de perda por inserção impostas pelos divisores de frequência passivos
8.63	configuração típica de sistema multiamplificado
8.64	espectro para sistema convencional (acima) e para sistema biamplificado, quando o amplificador trabalha com sobrecarga de $6,0$ dB em 200 Hertz

CAPÍTULO 9

FIGURA	DESCRIÇÃO
9.1	modelo mostrando os três elementos fundamentais da interferência eletromagnética
9.2	fonte de tensão alimentando duas impedâncias em paralelo
9.3	formação do mecanismo da impedância comum
9.4	visualizando as impedâncias comuns nos condutores de alimentação +V e – V
9.5	mecanismo responsável pelo acoplamento capacitivo
9.6	tensões de ruído para impedância Z muito menor do que a soma ($C_{ab} + C_{bt}$), e também, para valores iguais ou superiores a essa soma
9.7	redução do acoplamento capacitivo entre dois condutores, para afastamentos entre eles, medidos em termos de seus diâmetros. O valor 0 dB do eixo vertical é a referência de acoplamento, correspondente a um afastamento igual a três vezes o diâmetro dos condutores
9.8	transformador ideal. As linhas pontilhadas representam o fluxo mútuo
9.9	mecanismo responsável pelo acoplamento indutivo
9.10	ilustração da área A de um circuito fechado
9.11	arranjo de teste para verificar se o acoplamento é capacitivo ou indutivo
9.12	duas telas de osciloscópio. A da esquerda mostra ruídos de modo comum superpostos ao sinal diferencial. Na da direita, os ruídos são de modo diferencial, e também estão superpostos ao sinal diferencial
9.13	cabo de interligação curto-circuitado na fonte, para efeito de avaliação de acoplamento de campo elétrico
9.14	cabo de interligação aberto na fonte, para efeito de avaliação de acoplamento de campo magnético
9.15	condições para ocorrência de ação galvânica entre dois metais não similares
9.16	mecanismo básico de acoplamento capacitivo numa linha telefônica a 2 fios
9.17	situação da figura 9.16 com transposição de condutores

9.18	circuito equivalente simplificado de linha telefônica com transposição, para análise de acoplamento capacitivo
9.19	mecanismo básico de acoplamento indutivo numa linha telefônica a 2 fios
9.20	situação da figura 9.19 com transposição de condutores
9.21	circuito equivalente simplificado de linha telefônica com transposição, para análise de acoplamento indutivo
9.22	bastidor metálico com múltiplos elos de terra. Estes, resultam dos vários caminhos para terra criados pelos contatos que as partes metálicas fazem entre si
9.23	símbolos utilizados para indicar algumas formas de aterramento
9.24	ilustração de aparelho de áudio com lifts de terra
9.25	esquema de aterramento Terra Flutuante
9.26	esquema de aterramento Terra de Ponto Único
9.27	circuito equivalente do aterramento terra de ponto único, configuração série
9.28	circuito equivalente do aterramento terra de ponto único, configuração paralelo
9.29	esquema de aterramento multiponto
9.30	aterramento técnico - sistema terra isolado em estrela
9.31	ideia básica de implementação física do sistema terra isolado em estrela
9.32	tomadas isoladas e não isoladas
9.33	configuração de sistema técnico de aterramento para sistemas de áudio de pequeno porte
9.34	bastidor com esquema de aterramento de ponto único, configuração série
9.35	bastidor com esquema de aterramento de ponto único, configuração paralelo
9.36	arranjo de aterramento para sistema multibastidores
9.37	eletrodo de terra padrão remotamente complementado
9.38	alterações de resistividade do solo em função de variações percentuais de umidade e de salinização, e de mudanças de temperatura
9.39	eletrodo tipo haste XIT

9.40	acomodação da impedância da haste XIT após instalação
9.41	esquema básico de medição feito com os “meggers”
9.42	ilustração de método de medição de resistência para a terra empregando apenas um instrumento capaz de medir baixas resistências com precisão
9.43	detalhe de chaveamento de uma carga indutiva
9.44	resultado gráfico de experiência feita com um circuito como o da Figura 9.43
9.45	caso típico de sistema técnico de energia de porte médio
9.46	elo de terra e fonte de voltagem numa interligação
9.47	elo de terra quebrado com a inserção de transformador, sendo que voltagens de ruído ficam confinadas entre primário e secundário do transformador
9.48	duas maneiras simples de obtenção de choques de modo comum
9.49	interligação entre dois aparelhos com a inserção de um choque de modo comum
9.50	interligação entre dois aparelhos com a inserção de um transformador, cuja função é a de um choque de modo comum
9.51	interligação entre dois aparelhos com a inserção de um acoplador ótico com funções de isolação
9.52	modelo genérico de interligação entre dois aparelhos balanceados
9.53	sistema de aterramento híbrido, que funciona como um aterramento de ponto único para baixas frequências e multiponto para as altas frequências
9.54	sistema de aterramento híbrido, que funciona como um aterramento de ponto único para altas frequências, e multiponto para as baixas frequências
9.55	conta de ferrite - na esquerda a forma física do componente, ao centro o circuito equivalente e à direita a representação utilizada em esquemáticos
9.56	curvas de impedância de duas contas de ferrite mais utilizadas como ferramentas no combate aos ruídos em sistemas de áudio
9.57	arranjo básico de bastidor, com separação de cabos de acordo com os níveis dos sinais conduzidos
9.58	aparelho de áudio incorporando filtro rejeitor nos circuitos de entrada

9.59	forma simplificada de filtragem de linha CA num aparelho de áudio
9.60	filtros passa baixas, formato π , inseridos na circuitação de entrada dos amplificadores
9.61	filtros passa baixas inseridos na circuitação de entrada dos amplificadores
9.62	filtragem com capacitores aplicados entre os bornes de saída dos amplificadores para alto-falantes, e a terra
9.63	filtragem passa baixas aplicada em série entre os bornes de saída dos amplificadores para os alto-falantes, e os próprios
9.64	filtragem para antenas de sintonizadores de FM
9.65	filtragem para lâmpadas fluorescentes
9.66	filtragem para lâmpadas fluorescentes
CAPÍTULO 10	

FIGURA	DESCRIÇÃO
10.1	carreteis para cabos
10.2	racks contendo alguns carreteis para cabos
10.3	contadores de cabos portáteis e profissionais
10.4	esquema de eletrodutos com duas caixas infraestruturais
10.5	esquema elaborado para orientar o corte de cabos nos tamanhos adequados
10.6	encabeçamento típico de cabos organizados conforme práticas de engenharia de cabos em campo
10.7	acessórios disponíveis para facilitar as emendas de cabos antes do puxamento
10.8	esquema com origem e destino de 16 cabos passados por um total de 23 caixas infraestruturais
10.9	gancho de passa cabos preparado para o puxamento de 4 passa cabos
10.10	conector XLR fêmea à esquerda e macho à direita
10.11	diversos tipos de conectores de inserção de contato cilíndrico
10.12	conectores por inserção de lâmina
10.13	conectores de mola
10.14	conectores de parafuso (borneiras)
10.15	powerCON macho de cabo à esquerda e fêmea de chassi à direita, todos de 4 contatos
10.16	powerCON conectores de mola
10.17	conector Eletrotap, fabricação AMP, tipo IDC
10.18	vista da parte traseira de um patchbay da ADC, onde se percebe que os contatos elétricos são feitos com o fio sendo inserido num posto metálico com uma fenda, sendo que o fio é então forçado para essa fenda mediante uso de ferramenta especializada e própria para isso
10.19	conectores de crimpagem variados
10.20	ferramenta de crimpagem com diversas alternativas de tamanhos de conectores

10.21	ferramenta de crimpagem de conector RJ45 e os conectores à direita
10.22	intimidade mecânica entre contatos de conectores vista pelo microscópio
10.23	corrente elétrica (magenta) fluindo através dos contatos de um conector com ampliação
10.24	curva de resistência elétrica nos contatos x carga mecânica (gramas) nos contatos
10.25	curva de temperatura no ponto de contato x queda de voltagem nesse mesmo ponto
10.26	corrosão por oxidação
10.27	porosidade do ouro à esquerda e corrosão sólida à direita
10.28	fratura condutiva à esquerda e corrosão sólida à direita
10.29	à esquerda – pequenos movimentos relativos entre os contatos, o que produz microcavacos (em vermelho), no centro – aumento da quantidade de microcavacos e sua oxidação (em azul) e à direita – aumento substancial na quantidade de microcavacos e sua oxidação, estabelecendo o aumento progressivo da velocidade do processo deletério
10.30	medidor Extech modelo 380560
10.31	representação de terminal de componente eletrônico soldado em circuito impresso
10.32	características visuais de uma solda bem executada
10.33	coletânea de ferros de soldar
10.34	à esquerda, ferro de soldar que atinge muito rapidamente sua temperatura de regime (curva vermelha) e outro, que demora muito mais para chegar na mesma temperatura, à direita, curva representativa da perda de calor do ferro de soldar durante o processo de soldagem
10.35	ferros de soldar com wattagens de 20, 30, 40, 60 e 80 watts
10.36	ferro de soldar de potência muito elevada
10.37	típica pistola de solda
10.38	ferro de soldar com controle de temperatura na ponteira
10.39	resistência cerâmica especialmente desenvolvida para ferros de soldar

10.40	estação de solda com descanso separado
10.41	ferro de soldar com controle de temperatura acionado no corpo da ferramenta
10.42	diferentes técnicas de produção de ponteiros de ferros de soldar
10.43	algumas formas geométricas das pontas dos ferros de soldar
10.44	tamanho das pontas dos ferros de soldar e respectivas áreas de contato
10.45	ponteiros de ferro de soldar com formas geométricas especiais
10.46	descanso para ferro de soldar das mais simples que o mercado oferece
10.47	temperatura de fusão da solda versus proporção de estanho e chumbo na composição química
10.48	carretéis com fio de solda – na parte inferior os carretéis são de 500 gramas cada um
10.49	da esquerda para a direita: monofluxo, bifluxo e trifluxo
10.50	limpeza promovida pelo fluxo durante o processo de soldagem
10.51	cadinho para tipos muito específicos de soldagens
10.52	ferramenta para descascar cabos “automaticamente”, com várias opções de diâmetros
10.53	dimensões recomendadas para remoção da isolação dos fios
10.54	maneira correta de estanhar os fios
10.55	as várias etapas da preparação de um cabo com blindagem trançada
10.56	arranjos mecânicos não aceitáveis dos fios nos elementos metálicos a soldar
10.57	arranjos mecânicos aceitáveis dos fios nos elementos metálicos a soldar
10.58	maneira correta de acomodar o ferro de solda numa solda de terminal de componente eletrônico numa placa de circuito impresso e como posicionar o fio de solda
10.59	atividade local quando o ferro está sendo retirado do ponto de soldagem
10.60	lentes próprias para a inspeção dos pontos de soldagem, depois de concluídos
10.61	garra jacaré, poderoso dissipador térmico auxiliar nos processos de

	soldagem manual
10.62	ponteria de ferro de soldar mantida limpa
10.63	o problema está indicado com o círculo verde
10.64	os problemas estão distribuídos entre os pontos de solda numerados de 1 até 5
10.65	porosidade do ouro à esquerda e corrosão sólida à direita
10.66	cordoalha metálica para remover excesso de solda
10.67	cabos UTP, com condutores sólidos à esquerda e com condutores tipo cabinho flexível à direita
10.68	1 – Fluke Networks, preço FOB cerca de US\$50, 2 – Sullster Tech EZ-RJ com preço FOB de aproximadamente US\$ 100 e 3 – Gerber USA de US\$ 500 FOB
10.69	pinagem intrínseca dos conectores RJ45 de 4 pares e 8 condutores
10.70	pinagens especificadas no padrão TIA/EIA 568, variantes A e B para cabos diretos e cabos cruzados (crossover cable)
10.71	ferramenta de crimpagem de conectores RJ45
10.72	vista transversal do corte da jaqueta de cabo de rede com ferramenta de corte circular
10.73	cabo de rede tendo a extremidade de sua jaqueta sendo cortada com ferramenta de corte circular
10.74	cabo de rede já com cerca de 40 milímetros de jaqueta removida
10.75	maneira de desfazer as torções dos pares usando a parte da jaqueta removida do cabo
10.76	pares do cabo UTP já com as tranças
10.77	organização dos condutores do cabo UTP conforme T568-A do padrão TIA/EIA568
10.78	usando uma chave de fenda para “retificar” os condutores do cabo UTP
10.79	aspecto dos condutores do cabo UTP após retifica
10.80	aspecto dos condutores do cabo UTP após retificação

10.81	tamanho dos condutores do cabo UTP após retificação e corte
10.82	tesoura Wire Surgeon Wire and Kevlar Scissors
10.83	maneira de segurar o conector RJ45 imediatamente antes de introduzir os condutores do cabo UTP no interior do conector
10.84	condutores do cabo UTP já introduzidos no interior do conector RJ45
10.85	corte lateral de um conector RJ45 mostrando as linhas de crimpagem
10.86	conector RJ45 já introduzido em sua célula na ferramenta de crimpagem
10.87	foto mostrando o lado oposto da figura 10.77 e como o conector RJ45 deve encostar no limitador da ferramenta de modo que as duas punções de crimpagem desçam nos locais devidos
10.88	aspecto do conector RJ45 já crimpado
10.89	aspecto do conector RJ45 já crimpado com capa de PVC de cor azul
10.90	capas de proteção dos conectores RJ45 e a variedade de cores que elas são disponibilizadas
10.91	o elo mais fraco da corrente
10.92	piano de cauda simplesmente apoiado sobre o piso
10.93	deslocamento do centro de gravidade com o deslocamento da massa
10.94	deslocamento do CG por força de incremento assimétrico de massa
10.95	desenho construtivo da caixa line array C212 com informação 3D do Centro de Gravidade
10.96	diferentes arranjos físicos de pilhas line array com 12 elementos
10.97	o içamento de uma batata
10.98	o içamento de uma carga real
10.99	a tendência natural de giro da pilha em busca de uma situação de equilíbrio e de estabilidade
10.100	a solução para neutralizar condição de falta de equilíbrio e de instabilidade
10.101	problema e solução da pilha line array orientada para cima
10.102	situação ideal de equilíbrio e de estabilidade de uma pilha line array com 12 elementos

10.103	parte superior do ginásio esportivo Staples Center, Los Angeles
10.104	problema e solução de pilha line array montada quase horizontalmente
10.105	sugestões de arranjo pilhas e bumpers para sistemas line array orientados para baixo, à esquerda, e para cima, à direita
10.106	pilha line array com 4 elementos instalada num ginásio esportivo pelo autor
10.107	A – vista lateral, B - corte lateral com indicação do diâmetro interno da rotunda, C – planta da edificação e D – perspectiva mostrando na cor azul clara o uso do concreto
10.108	elementos estruturais em destaque
10.109	corpos de prova de concreto sofrendo esforços físicos
10.110	vista geral de uma estrutura metálica de médio porte
10.111	estrutura metálica geodésica
10.112	trusses de três comprimentos mais comuns
10.113	alguns tipos de parafusos
10.114	diferentes cabeças de parafusos
10.115	formas de atuar sobre os parafusos
10.116	alguns tipos diferentes de porcas
10.117	alguns tipos de arruelas
10.118	terminologia relacionada com as roscas dos parafusos
10.119	materiais utilizados na fabricação dos parafusos
10.120	exemplos de cargas cujos parafusos de fixação estão submetidos a forças de tração (à esquerda) e de cisalhamento (à direita)
10.121	área efetiva do parafuso que fica submetida à tração
10.122	aperto de parafuso versus deformação
10.123	torquímetro digital
10.124	parabolts e seus tipos
10.125	buchas expansivas de nylon
10.126	uma das muitas construções possíveis de cabos de aço

10.127	construções mais comuns de cabos de aço
10.128	maneiras certa e errada de medir diâmetro nominal de cabo de aço
10.129	defeitos mais comuns que se contata nos cabos de aço
10.130	terminações dadas aos cabos de aço
10.131	grampo de cabo de aço
10.132	usos certo e errados dos grampos de cabo de aço
10.133	principais tipos de manilhas usadas em correntes e em cabos de aço
10.134	suporte especial da Work Pro Lifters, modelo AW 502
10.135	conexão mecânica entre cabo de aço e gancho da carga
10.136	variedade de tipos e formatos de grampos disponíveis no mercado
10.137	laços de cabo de aço e o uso do gancho correção no detalhe ampliado
10.138	carga suportada por seu próprio gancho
10.139	os três tipos mais usados de anelões
10.140	caixas acústicas suportadas por 1, por 2 e por 4 tirantes
10.141	tipos de terminações mais comuns das lingas oferecidas no mercado
10.142	esticadores para cabos de aço
10.143	anilha ou prensa cabo
10.144	anilha unindo dois cabos de aço para formar um laço
10.145	luvas de emenda para cabos de aço
10.146	diversos tipos de olhais para cabos de aço
10.147	instalações correta e errada de olhais em chapas metálicas espessas
10.148	instalações correta e errada de olhais em chapas metálicas finas
10.149	uso de porcas nas instalações corretas de olhais em chapas metálicas espessas e finas
10.150	sapatilhas para cabos de aço
10.151	problemas de usar sapatilhas com tamanhos não adequados para o diâmetro do cabo de aço
10.152	coletânea de soquetes para cabos de aço

10.153	soquete tipo cunha com instalação correta e instalações erradas
10.154	diferentes tipos de correntes
10.155	alongamento dos elos das correntes que ocorre com o uso
10.156	lingas de correntes
10.157	cintas de poliéster
10.158	as camadas das cintas de poliéster
10.159	desgastes das cintas de poliéster
10.160	anatomia das cintas de poliéster
10.161	jaquetas próprias para as cintas de poliéster
10.162	detalhes dos acessórios de proteção para cantos vivos
10.163	tipos de cintas de poliéster
10.164	etiquetas nas cintas de poliéster
10.165	código de cores das cintas de poliéster
10.166	cintas de poliéster de formato circular
10.167	polia comum
10.168	polia fixa e polia móvel
10.169	polia móvel e cálculos envolvidos
10.170	polia móvel com cordas inclinadas
10.171	combinação de uma polia fixa com uma polia móvel
10.172	combinação de uma polia fixa com duas polias móveis
10.173	combinação de uma polia fixa com uma polia móvel
10.174	combinação de uma polia fixa com duas polias móveis
10.175	combinação de uma polia fixa com um par de polias fixas, mas com o par tendo mobilidade em relação à polia fixa
10.176	combinação de dois pares de polias fixa, sendo um par móvel em relação ao anterior
10.177	combinação de uma trinca de polias fixas com um par de polias fixas, sendo o par de polias móvel em relação à trinca

10.178	cadernal de 3 polias
10.179	combinação de dois cadernais de 3 polias cada um
10.180	talha manual L.K. Goodwin, modelo LHH
10.181	talha manual de alavanca
10.182	detalhe da cesta porta corrente imediatamente abaixo da talha, modelo SC200
10.183	uma das talhas elétricas de corrente para grande altura que instalamos no Teatro Municipal de São Paulo para elevar as line array Meyer Sound
10.184	talha pneumática de 3 toneladas, de corrente
10.185	andaime convencional
10.186	balancim de cabos passantes à esquerda e balancim elétrico à direita
10.187	cadeirinha de corda à esquerda e cadeirinha de cabo de aço à direita
10.188	profissional atrás da pilha de line array usando cadeirinha de cabo de aço
10.189	mini plataforma individual
10.190	mini grua
10.191	plataforma tesoura modelo GS26
10.192	plataforma individual
10.193	guincho de coluna
10.194	caminhão Munck
10.195	lança telescópica de porte pequeno/médio
10.196	lança telescópica articulada
10.197	guindaste hidráulico QY70K
10.198	guindaste Liebherr modelo LTM1500
10.199	carroça antiga Magirus
10.200	escada Magirus moderna montada em caminhão
10.201	ancoragem tipo aeronáutico fabricação ATM, modelos AF-RSPF (198 kg), AF-RPF (210 kg) e AF-SPF (198 kg), respectivamente da esquerda para a direita

10.202	quantidade e localizações dos pontos de ancoragem (padrão universal) da caixa acústica Renkus Heinz modelo ST 4
10.203	caixas acústicas com suportes metálicos para assegurar melhor desempenho físico das juntas
10.204	caixas acústicas com suportes metálicos internos de reforço
10.205	bumpers integrais para caixas acústicas
10.206	dois grides para clusters de caixas acústicas
10.207	gride sustentando duas pilhas de minhas caixas acústicas, modelo C212
10.208	seis caixas acústicas RH modelo STX 4 suspensas e fixadas a um gride Adaptive Technologies Group SAS-024-SB (capacidade 295 kg)
10.209	cluster central usando gride de aço inoxidável reforçado de formato circular
10.210	vista das duas caixas acústicas instaladas acima do nível do forro da igreja
10.211	pilha de 4 caixas acústicas line array e um subwoofer, suportadas por bumper através de 4 cabos de aço
10.212	4 pilhas de 6 caixas acústicas line array + 2 subwoofer, instaladas num gride formado por trusses cortesia
10.213	pilha de 5 caixas acústicas line array suportadas por um bumper e, atrelada a ele, uma barra longitudinal de ajuste
10.214	dois modelos diferentes de barras longitudinais de ajuste fabricadas pela alcons áudio
10.215	suporte de parede e suporte de teto, ambos para caixas acústicas
10.216	suporte de superfície vertical para caixa acústica, uso externo
10.217	suporte pendural fixo à esquerda e suporte pendural com ajuste de azimuth à direita
10.218	suportes diversos para quantidade de caixas acústicas organizadas horizontalmente em forma de setor de círculo
10.219	suporte customizado para cluster projetado para atender uma demanda exclusiva
10.220	suportes diversos projetados para line arrays posicionadas de forma singular, para um dado ambiente de grande porte

10.221	seqüência para o levantamento de carga do piso
10.222	postura de ser humano em pé
10.223	postura de ser humano sentado
10.224	postura de ser humano sentado e pressões exercidas sobre a coluna dorsal
10.225	capacetes e cores
10.226	fone de ouvido cancelador de ruídos Audio Technica ATH-ANC7
10.227	formas mais comuns de amarração de cargas para içamento
10.228	rede de içamento profissional
10.229	capacidades nominais de acessórios de cabos de aço
10.230	sinalização padrão utilizada em rigging (NBR 11436 e na norma ANSI/ASME B30.5) além de sinalização alternativa (24 a 31)
10.231	modelo MSP da Lyntec
10.232	Aphex Aural Exciter
10.233	BBE modelo 882i
10.234	Empirical Labs Fatso EL7x
10.235	SPL Stereo Vializer
10.236	distribuidor de áudio RDL modelo ADA4D
10.237	condicionador de linha e sequenciador SurgeX modelo SEQ20
10.238	interface de áudio Foscusrite, modelo Scarlett 2i4
10.239	Lexicon modelo MX200
10.240	o poderoso FBX da Sabine
10.241	Gefen stereo audio extender S/R (até 300 metros) sobre cabos UTP
10.242	patchbay Audio Accessories modelo WQP-07-P-C-48-N-2 (2x48x2RU)
10.243	testador de cabos Pyle, modelo PCT60
10.244	matriz de áudio estéreo, 24 entradas e 24 saídas, Extron modelo MAV Plus 2424A
10.245	automixer by Dan Dugan
10.246	matriz digital bss, modelo London BLU-325

FIGURA	DESCRIÇÃO
11.1	a circuitação do testador de cabos de microfone DL-CT-1
11.2	diagrama de blocos de um testador de fases
11.3	esquemático detalhado do testador de fases
CAPÍTULO 12	

FIGURA	DESCRIÇÃO
12.1	limites de sinal de um aparelho hipotético. Abaixo o limite dos ruídos residuais, e acima o limite de clipamento
12.2	medidor VI convencional
12.3	circuito de um medidor VI convencional
12.4	fator de crista
12.5	ganhos e atenuações num mixer típico
12.6	sistema de reforço no qual faremos o ajuste da estrutura de ganho
12.7	estrutura de ganho do sistema inadequadamente ajustado
12.8	estrutura de ganho do sistema adequadamente ajustado
12.9	modelo fundamental de uso de atenuador fixo, com o mesmo inserido entre dois aparelhos
12.10	atenuadores fixos, A e B tipo L, configurações não balanceada e balanceada, respectivamente, C e D tipo duplo L em tandem, configurações não balanceada e balanceada, respectivamente e E e F tipo MAL, configurações não balanceada e balanceada, respectivamente
12.11	sistema de reforço de som num ambiente fechado, com suas respostas elétricas e acústicas
12.12	curva da resposta acústica de um sistema de reforço de som não equalizado
12.13	curva da resposta acústica de um sistema de reforço de som com alguma equalização
12.14	curva da resposta acústica de um sistema de reforço de som equalizado
12.15	curva acústica original do sistema não equalizado e resposta elétrica modificada pelo equalizador, necessária para equalizar o sistema
12.16	padrões de formatação da resposta acústica de acordo com a natureza do programa
12.17	o elo da realimentação
12.18	os campos envolvidos no processo da realimentação
12.19	duas curvas obtidas com um equalizador Altec 9014A, A filtro centrado em

	1.000 Hz, ajustado para atenuação de 6,0 dB, B 3 filtros centrados em 800, 1.000 e 1.250 Hz, todos ajustados para atenuação de 2,0 dB
12.20	arquitetura de sistema para equalização com a técnica resposta regenerativa em tempo real
12.21	arquitetura de sistema para equalização com a técnica sintonia de realimentação
12.22	arquitetura de sistema para equalização com a técnica sintonia com ruído rosa
12.23	vale na resposta acústica, como informado no displêi de um RTA
12.24	resposta típica de um filtro notch
12.25	a visualização gráfica das situações “equivalentes” da tabela 12.3
12.26	os detalhes de um mesmo envelope processado com diferentes tempos de ataque do compressor
12.27	a razão da distorção de escala
12.28	desenho de projeto mostrando os ângulos de azimuth e de zênite para o alinhamento de um grupo de falantes
12.29	caixa acústica com sinais alinhados no tempo, e outra com eles desalinhados
12.30	cluster instalado no Iowa Center, em Ames, Iowa
12.31	resposta de frequência de um falante para um único sinal, e para 2 sinais com atrasos de 20 e de 30 microssegundos
12.32	gráficos EFC para dois falantes alinhados, e com desalinhamento de 170 microssegundos
12.33	arranjos de falantes. O da esquerda sem muitas chances de ser alinhado. O da direita, uma modificação capaz de permitir o alinhamento acústico aceitável
12.34	condicionamento de sons primários pela acústica do local onde eles são produzidos
12.35	a anatomia da convolução
12.36	sinal de voz (A), log da magnitude da transformada de Fourier desses mesmo sinal (B), curva B processada com longpass lifter (C) e transformada

	inversa de Fourier do logaritmo da magnitude da transformada de Fourier processada pelo longpass lifter (D)
12.37	resposta de frequência de tweeter ao lado de placa refletora à esquerda e cepstrum ao lado direito
12.38	resposta de frequência de tweeter sem a placa refletora à esquerda e cepstrum ao lado direito
12.39	a tela principal e a comparação de dois sinais de entrada
12.40	analisador de espectro em tempo real (RTA) operando em 1/6 de oitava
12.41	função transferência e seu traço característico
12.42	função transferência com traço suavizado
12.43	função FPPO ativada e traço mais consistente nas baixas frequências
12.44	tela mostrando fase na parte superior e magnitude na parte inferior
12.45	valores de coerência entre dois sinais
12.46	tela com EQ Mode ativado
12.47	comparação direta de medição em tempo real com memória 2 do banco A
12.48	resultado do processamento do delay locator
12.49	a tela típica do módulo Analysis, mostrando ruído de
12.50	a tela do módulo Analysis com magnitude graduada em dB
12.51	caixa de diálogo para geração do arquivo wav transformado
12.52	traços time slice
12.53	cálculo dos parâmetros de caimento de algumas bandas, com indicação do tempo de reverberação
12.54	análise do conteúdo de frequências e magnitudes de onda quadrada de 1 kHz
12.55	análise do conteúdo de frequências e magnitudes de onda sinusoidal de 250 Hz
12.56	análise de um sinal usado para medição de distorção por intermodulação
12.57	espectrograma da locução “a acústica é uma ciência fácil”
12.58	resultado tabulado do procedimento “analysis”
12.59	tela mostrando arquivo de impulso e caimento no programa SmaartLive 5

12.60	tela do SmaartLive 5 com espectrograma e análise em tempo real (1/12 de oitava)
12.61	analisador de espectro de dois canais do SmaartLive 5
12.62	time slice do AcousticTools com análise do decaimento
12.63	tabela de cálculo do AcousticTools com dados dos indicadores de
12.64	resposta de frequência de pequena caixa acústica de 3 vias
12.65	respostas de frequência e de fase
12.66	resposta de frequência quase anecóica de um woofer de 15 polegadas
12.67	levantamento dos parâmetros Thiele-Small de um woofer de 15 polegadas
12.68	curva do módulo de impedância e de fase de um woofer de 15 polegadas
12.69	curva ETC abrangendo todo o espectro de áudio
12.70	curva ETC de banda de oitava centrada em 1 kHz, com indicação do tempo de reverberação calculado (0,82 segundos)
12.71	cepstrum de potência, calculado para 5 milissegundos
12.72	cepstrum de potência, calculado para 20 milissegundos
12.73	queda espectral cumulativa (waterfall)
12.74	tela típica do osciloscópio digital do Audiosuite, trabalhando no modo 2 canais
12.75	resultado da medição do analisador FFT
12.76	tela do RTA com resolução de 1/3 de oitava
12.77	tela do RTA com resolução de 1/6 de oitava
12.78	distorção harmônica total indicada em percentuais referidos à fundamental
12.79	distorção harmônica total indicada em níveis absolutos (volts)
12.80	distorção harmônica apenas da segunda harmônica
12.81	distorção harmônica apenas da terceira harmônica
12.82	a janela principal do Praxis
12.83	a área do plot primário do Praxis
12.84	submenú de controle do Praxis

12.85	resposta de frequência complexa
12.86	medição de impedância complexa
12.87	visão com detalhes de medição de impedância complexa
12.88	plot do programa mostrando os parâmetros Thiële-Small
12.89	tela mostrando uma resposta de impulso
12.90	curva Schroeder derivada da resposta de impulso
12.91	resumo tabular de informações referentes à curva Schroeder
12.92	resultado gráfico do analisador de espectro em tempo real do Praxis
12.93	curvas de distorção por intermodulação
12.94	curvas de resposta de frequência em camadas
12.95	resposta waterfall
12.96	respostas waterfall
12.97	janela de controle da perspectiva visual das respostas waterfall
12.98	janela com o parâmetro “depth Q” e seus efeitos visuais
12.99	janela com o parâmetro “use color gradiente” e seus efeitos visuais
12.100	padrões polares de falantes medidos no sistema Praxis
12.101	o SIM da Meyer, da esquerda para a direita, de 1986, de 1991 e de 2003
12.102	painel frontal do SIM III da Meyer
12.103	acima, respostas polares de arranjos linearray Meyer e, abaixo, à esquerda resposta de frequência e à direita, analisador de espectro em tempo real
12.104	nível laser, Bosch modelo GLL3-80P, capacidade de 3 planos precisos com cobertura de 360° com operações horizontais e verticais
12.105	nível eletrônico magnético Johnson
12.106	clinômetro digital de precisão
12.107	range finder Scout 1000 ARC
12.108	Vertex Laser Hypsometer
CAPÍTULO 13	

FIGURA	DESCRIÇÃO
13.1	ilustração de energia trifásica
13.2	diferentes configurações de transformadores trifásicos
13.3	esquema básico de geração, transmissão e distribuição de energia
13.4	casos mais comuns de fornecimento de energia para o consumidor final
13.5	situação na qual as correntes do condutor comum se cancelam
13.6	forma de onda sinusoidal no displêi de um osciloscópio
13.7	investigação dos motivos das anomalias no fornecimento de energia
13.8	variações de voltagem em forma gráfica
13.9	pacote de tolerâncias magnitude x duração das anomalias
13.10	impulso transiente do tipo notch (severo e moderado)
13.11	resultado gráfico do desligamento de carga indutiva de uma linha de 110 volts CA
13.12	picote (sag/EUA, dip/Inglaterra e brownout/internacional)
13.13	queda transitória (dropout)
13.14	interrupção de fornecimento (outage)
13.15	limites da subvoltagem
13.16	limites da sobrevoltagem
13.17	harmônicas
13.18	distorções
13.19	ruídos
13.20	exemplo de carga não linear
13.21	interferência de modo comum à esquerda e de modo diferencial à direita
13.22	aparelho para aferir qualidade do fornecimento de energia
13.23	ilustração de erro de aliasing embutido na medição de um osciloscópio digital. A figura A representa o sinal de entrada e seus pontos de amostragem, porquanto a figura B representa o sinal como medido pelo instrumento. O erro de medida (aliasing) é introduzido em consequência da

	subamostragem
13.24	forma especial de blindagem para osciloscópio com entradas diferenciais
13.25	ponta de prova de osciloscópio, tipo 10X
13.26	circuito de regulador com autotransformador motorizado e transformador série
13.27	esquema básico do regulador de voltagem do tipo ferromressonante
13.28	esquema básico do regulador eletrônico de voltagem
13.29	arranjo básico de um conjunto motor-gerador
13.30	circuitação típica para controle de voltagens muito elevadas
13.31	centelhadores para proteger circuitos de voltagens além de um determinado limite
13.32	curva V-I típica de um varistor de óxido metálico, apresentada em escala linear
13.33	curva V-I típica de um diodo de avalanche
13.34	diodos de avalanche configurados costa a costa
13.35	circuito contendo chokes de filtro (roxo claro)
13.36	diagrama de blocos de uma fonte nobreak verdadeira
13.37	diagrama de blocos simplificado de uma fonte nobreak tipo de espera
13.38	diagrama de blocos simplificado de um motor-gerador modificado
13.39	circuito fundamental de um filtro de linha (passa baixas)
13.40	filtro de linha para combate a ruídos de modo comum e de modo diferencial
13.41	combinação de filtro de linha com diversos VOMs, incluindo circuito sensor de alta voltagem e válvula de descarga a gás. Num dispositivo destes, o excesso de voltagem é absorvido em sequência, por estágios sucessivos
13.42	alimentação convencional com fase, neutro e terra
13.43	caminhos de condução de ruído em alimentação convencional
13.44	caminhos de condução de ruído em alimentação convencional, provida de filtro de linha
13.45	alternativa de alimentação com linhas balanceadas

13.46	caminhos de condução de ruído em alimentação com linha balanceada
13.47	caminhos de condução de ruído em alimentação com linha balanceada, provida de filtro de linha
13.48	resistor colocado através de carga indutiva para controle de transientes
13.49	varistor colocado através de carga indutiva para controle de transientes
13.50	combinação de resistor com capacitor, colocada através de carga indutiva para controle de transientes
13.51	diodo colocado através de carga indutiva para controle de transientes
13.52	combinação de diodo com zener, colocada em carga indutiva para controle de transientes
13.53	dois zeners em configuração costa-a-costa, colocados através de carga indutiva para controle de transientes
13.54	capacitor colocado em paralelo com os contatos de um circuito, para proteção dos próprios contatos e controle de transientes
13.55	combinação de capacitor com resistor colocada em paralelo com os contatos de um circuito, para proteção dos próprios contatos e controle de transientes
13.56	combinação de capacitor com resistor com diodo, colocada em paralelo com os contatos de um circuito, para proteção dos próprios contatos e controle de transientes

CAPÍTULO 14

FIGURA	DESCRIÇÃO
14.1	aspecto geral de uma caixa subterrânea
14.2	borneira de parafusos
14.3	típica caixa de piso com espelho
14.4	típica caixa metálica de uso geral
14.5	caixa metálica especial para instalação de conectores XLR-F de painel
14.6	caixa instalada ao rés do piso
14.7	terminação de eletrodutos em caixas
APÊNDICE A	

FIGURA	DESCRIÇÃO
A.1	Curva Gaussiana
APÊNDICE B	

FIGURA	DESCRIÇÃO
B.1	amplificador AIVC com sua carga
B.2	as três hipóteses do exemplo do item B.2.3
B.3	custo por watt em função da potência de saída do amplificador, aí considerada a perda
B.4	amplificador AIVC operando com sua carga típica, diversos falantes associados em paralelo
B.5	distância entre centros de falantes, em relação à altura entre eles e a linha de audição
B.6	perdas em linhas em função de seus comprimentos e das bitolas dos cabos
B.7	o Centro de Controle modelo 344, da linha Acustavoice, da Cysne Sound Engineering
B.8	atenuador inserido no circuito secundário do transformador, para controle individualizado de volume
B.9	atenuador resistivo inserido no circuito primário de um grupo de transformadores, para controle regionalizado de volume
B.10	interruptor inserido numa parte da linha de transmissão, o que permite ligar ou desligar esta parte
B.11	esquema básico de setorização num sistema AIVC
B.12	relé interposto no circuito secundário do transformador, para neutralizar a atuação do atenuador, usado em caso de chamadas, avisos e mensagens forçadas
B.13	forma usual de obter a monitoração dos amplificadores num sistema AIVC
B.14	esquema elaborado para substituição manual de amplificador defeituoso
B.15	circuitação típica de microfones arranjados para prioridade
B.16	alto-falantes ligados alternadamente aos amplificadores, para aumento de confiabilidade do sistema
B.17	transformadores de linha para bobina móvel tapeados
APÊNDICE C	

FIGURA	DESCRIÇÃO
C.1	arquitetura básica de um computador digital
C.2	elementos da CPU
C.3	programa carregado na memória
C.4	número 1010 armazenado numa memória de 4 capacitores
C.5	representação da leitura da memória de um disco magnético
C.6	representação da memória unidimensional
C.7	conteúdo da memória da figura C.3 escrita em código binário
C.8	técnica de representação de ponto flutuante
C.9	técnica de detecção de erros
C.10	transmissão de zeros e uns
C.11	níveis de quantização
C.12	passos de conversão e introdução de ruídos
C.13	sistema de áudio digital completo
APÊNDICE D	

FIGURA	DESCRIÇÃO
D.1	sinais de varredura em tempos sucessivos
D.2	situação prática de falante, microfone e superfície refletora
D.3	diagrama de blocos simplificado para fazer medições por EAT
D.4	diagrama de blocos de arranjo melhorado para fazer medições por EAT
D.5	diagrama de blocos de arranjo baseado em EAT, de concepção híbrida
D.6	diagrama de blocos simplificado do Tecron 12 da Crown
D.7	forma de conversão de valores digitais de fases em senóides
D.8	quadratura perfeita ao longo de toda a banda passante do oscilador
D.9	aspecto do analisador pioneiro TEF 10 Tecron, da Crown
D.10	modos de apresentação dos dados nos analisadores TEF
D.11	apresentação de dados em 3D
D.12	40 plotagens originadas do sistema TEF
D.13	6 plotagens originadas do sistema TEF e relacionadas com inteligibilidade da palavra
D.14	Versão atual do analisador TEF 20 SHIP (Serial HI-Parallel)

APÊNDICE E

FIGURA	DESCRIÇÃO
E.1	ideia geral do ouvido humano
E.2	corte transversal da cóclea
E.3	detalhes do órgão de Corti
E.4	reação das células ciliadas aos movimentos relativos das membranas basilar e tectorial
E.5	voltagens sempre presentes na cóclea
E.6	roteiro provável dos impulsos neuronais da audição
E.7	aspecto do cérebro humano visto de cima, e localização do nervo auditivo
E.8	ilustração da DII
E.9	ilustração da DTI
E.10	ilustração da DCI
E.11	espectro de frequências aproximado do pavilhão auditivo para elevações da fonte de som
E.12	contornos de mesma audibilidade, levantadas por Fletcher e Munson, nos Estados Unidos
E.13	três exemplos de ruídos com mesma intensidade e mesmo nível de pressão sonora, mas com diferentes larguras de banda
E.14	largura de banda crítica clássica (curva cheia) e largura de banda de filtros de 1/3 de oitava (curva tracejada)
E.15	duração dos pulsos e como percebemos suas intensidades

G.2 RELAÇÃO DE TABELAS

CAPÍTULO 1

TABELA	DESCRIÇÃO
1.1	campo de aplicação dos vários sistemas
1.2	técnicas de processamento de sinais com relação aos canais

CAPÍTULO 2

TABELA	DESCRIÇÃO
2.1	notações matemáticas
2.2	relação entre watts e dBW
2.3	curvas de ponderação
2.4	pressões sonoras de algumas atividades conhecidas
2.5	decibels, rótulos e multiplicadores

CAPÍTULO 3

TABELA	DESCRIÇÃO
3.1	velocidade do som em diversos meios
3.2	níveis relativos das harmônicas de onda quadrada
3.3	classe de transmissão de ruído
3.4	perdas de transmissão espectrais de diversas combinações de vidros de várias espessuras
3.5	curvas NC recomendadas para algumas atividades mais corriqueiras
3.6	proporções físicas de salas recomendadas para melhor controle de modos acústicos
3.7	exemplo de como se desenvolvem os modos acústicos axiais numa sala fechada
3.8	diferenças de frequências entre modos acústicos adjacentes
3.9	tabela exemplo de cálculo de Tempo de Reverberação sem correção
3.10	tabela exemplo de cálculo de Tempo de Reverberação com correção

CAPÍTULO 4

TABELA	DESCRIÇÃO
4.1	classificação geral dos microfones
4.2	bandas de frequências utilizadas por microfones sem fio
4.3	espectro de radiofrequências e bandas com suas designações
4.4	alocação de canais de VHF e de UHF
4.5	especificações de potência do amplificador Crest modelo 8001
4.6	especificações de potência do amplificador Ciclotron modelo TIP 3000 $\Omega 2$
4.7	método para determinação espacial da Relação de Diretividade de um transdutor
4.8	passos de torção de cabos
4.9	detalhes construtivos dos condutores empregados na fabricação de cabos de rede
CAPÍTULO 5	

TABELA	DESCRIÇÃO
5.1	atenuação com a distância
CAPÍTULO 6	

TABELA	DESCRIÇÃO
6.1	dados técnicos de alguns produtos EAW (Eastern Acoustic Works)
6.2	níveis de pressão sonora de algumas atividades musicais
6.3	níveis de ruído versus tempos máximos de exposição
6.4	homogeneidade de cobertura nas técnicas de falantes distribuídos
6.5	STITEL - bandas de frequências e frequências de modulação
6.6	escala comum de inteligibilidade
6.7	correlação $AL_{CONS}\%$ e RASTI
6.8	geração de corrente elétrica e correspondente produção de calor
6.9	exemplo de tabela de quantitativos utilizada em projetos
6.10	especificações básicas de microfones de testes

CAPÍTULO 7

TABELA	DESCRIÇÃO
7.1	dados técnicos de quatro subwoofers de mercado
CAPÍTULO 8	

TABELA	DESCRIÇÃO
8.1	variação de potência de amplificador como função da variação da carga
8.2	impedâncias de entrada e de saída mais comuns de microfones e aparelhos
8.3	níveis nominais de aparelhos de áudio

CAPÍTULO 9

TABELA	DESCRIÇÃO
9.1	frequências de ruído e distâncias para a predominância de campo remoto
9.2	série triboelétrica
9.3	voltagens da DEE
9.4	susceptibilidade à corrosão galvânica
9.5	redução de indução de ruído por torção de fios e função dos passos de torção
9.6	sugestão de bitolas de condutores para uso em aterramentos
9.7	resistividade de alguns tipos de solos
9.8	exemplo de divisão de QETs por função
9.9	atenuação de ruído elétrico com a distância
CAPÍTULO 10	

TABELA	DESCRIÇÃO
10.1	tabela de cabos desenvolvida em projeto para uso em campo
10.2	tabela para auxiliar os cortes dos cabos em campo
10.3	tabela com relação de cabos e respectivos comprimentos para solicitação de fornecimento em bobinas de comprimentos que evitem perdas
10.4	relação de cabos com especificação dos comprimentos de sobra nas duas extremidades
10.5	voltagens nos contatos elétricos e correspondentes aumentos de temperatura
10.6	ferros de soldar e suas wattagens
10.7	cabos multicerdas e limites de cerdas que podem ser “perdidas”
10.8	potências de ferros de soldar para estagnar cabos de diferentes bitolas
10.9	densidade em kg/m ³ de inúmeros elementos e substâncias
10.10	dados compilados da norma NBR8653
10.11	cargas e deformações de situações mais típicas
10.12	percentagem do passo ocupado por tipo padrão de rosca
10.13	propriedades mecânicas de alguns parafusos estruturais
10.14	série tribelétrica
10.15	cargas médias de arrancamento de chumbadores tipo CBA
10.16	resistências de buchas químicas
10.17	cargas de ruptura típicas de cabos de aço
10.18	reduções aceitáveis de diâmetro de cabos de aço
10.19	resistências mecânicas das manilhas
10.20	resistências mecânicas das manilhas para ângulos pouco usuais
10.21	resistências de ganchos olhais convencionais
10.22	resistências mecânicas de três tipos mais comuns de anelões
10.23	resistências à tração das lingas, expressas em toneladas
10.24	resistências à tração das lingas arranjadas em elos

10.25	esticadores de aço forjado tipo manilha - manilha
10.26	resistência à tração de olhais
10.27	tamanhos nominais de correntes de aço
10.28	redução da resistência à tração das correntes de aço função da temperatura
10.29	capacidades nominais das correntes grau 80
10.30	capacidades nominais das correntes grau 100
10.31	capacidade nominal de carga em kgf para içamentos verticais de cintas de poliéster
10.32	resistências das cordas de poliamida fabricadas no Brasil e o equivalente das cordas importadas
10.33	limite para levantamento de pesos para seres humanos
10.34	elementos para cálculo do índice de Massa Corporal
CAPÍTULO 12	

TABELA	DESCRIÇÃO
12.1	sensibilidades e níveis nominais de entrada de aparelhos de sistema hipotético
12.2	tabela resumindo a matemática de ajuste correto e de outro, incorreto
12.3	alternativas de ajustes de parâmetros de compressores
12.4	a dinâmica da taxa de compressão como função do tempo
CAPÍTULO 14	

TABELA	DESCRIÇÃO
14.1	níveis dBm dos sinais por grupos de aparelhos
14.2	capacidade de atenuação de campo magnético e de campo elétrico de diversos tipos de eletrodutos e de eletrocalhas
14.3	capacidade de ocupação de cabos de eletrodutos de diversos diâmetros

APÊNDICE B

TABELA	DESCRIÇÃO
B.1	potência fornecida por amplificador de 70,7 volts
B.2	impedância de carga
B.3	conjunto de parâmetros de amplificador de 70,7 volts
B.4	cálculo de impedância primária de transformador de linha para bobina móvel
APÊNDICE C	

TABELA	DESCRIÇÃO
C.1	código Morse (zeros e uns?)
C.2	código de 4 bits codificando valores de 00 a 13
APÊNDICE C	

TABELA	DESCRIÇÃO
C.1	código Morse (zeros e uns?)
C.2	código de 4 bits codificando valores de 00 a 13
C.3	conjunto de parâmetros de amplificador de 70,7 volts
B.4	cálculo de impedância primária de transformador de linha para bobina móvel

G.3 RELAÇÃO DE EXPRESSÕES

CAPÍTULO 2

TABELA	DESCRIÇÃO
2.1	representação exponencial de um número
2.2	identidade logarítmica
2.3	propriedade dos logs (divisão)
2.4	propriedade dos logs (multiplicação)
2.5	propriedade dos logs (exponenciação)
2.6	obtenção de um log em qualquer base
2.7	o bel
2.8	o decibel
2.9	o dBm
2.10	o dBV
2.11	combinação de decibels
2.12	subtração de níveis estabelecidos em decibels

CAPÍTULO 3

TABELA	DESCRIÇÃO
3.1	velocidade do som no ar
3.2	área de uma esfera
3.3	período
3.4	comprimento de onda
3.5	perda de transmissão
3.6	resistência específica ao fluxo
3.7	cálculo de porosidade
3.8	alteração incremental de pressão no centro de um tubo
3.9	relação entre alteração de pressão e de volume
3.10	índice de transparência acústica-ITA
3.11	atenuação de revestimento em função da frequência
3.12	frequência de ressonância de um painel rígido
3.13	fator de dissipação de um painel
3.14	frequência de ressonância dos ressonadores Helmholtz
3.15	cálculo do percentual de perfuração de um painel acústico
3.16	frequência de ressonância dos painéis perfurados
3.17	frequência de ressonância dos slats
3.18	frequência de ressonância das cordas
3.19	comprimento de onda na frequência de ressonância de uma corda
3.20	cálculo geral de frequência de ressonância das cordas
3.21	cálculo da frequência de ressonância fundamental e de harmônicos num tubo fechado numa só extremidade
3.22	cálculo da frequência de ressonância fundamental e de harmônicos num tubo aberto nas duas extremidades
3.23	frequência de ressonância num tubo
3.24	caminho livre médio (CLM)

3.25	quantidade de reflexões por segundo para quaisquer velocidades de som
3.26	quantidade reflexões por segundo para velocidade do som igual a 344 m/s
3.27	igualdade representação redução de energia de 1.000.000 de vezes
3.28	quantidade total de reflexões (QTR)
3.29	tempo de Reverberação Sabine
3.30	desmembramento de área em partes, cada qual com seus próprios materiais de acabamento
3.31	tempo de Reverberação Norris-Eyring
3.32	tempo de Reverberação Fitzroy
3.33	cálculo de coeficientes médios de absorção - Sabine
3.34	cálculo de coeficientes médios de absorção - Norris-Eyring
3.35	cálculo de coeficientes médios de absorção – Fitzroy
3.36	a Constante do Ambiente (R)
3.37	atenuação de ruído numa sala por aplicação de material absorvente
3.38	frequência limite de problemas com ondas estacionárias, em função das dimensões da sala
3.39	cálculo das direções de difração em difusores QRD
3.40	cálculo de intensidade em cada direção de difração em difusores QRD
3.41	cálculo da largura dos sulcos em difusores QRD unidimensionais
3.42	cálculo da largura dos sulcos em difusores QRD bidimensionais
3.43	medição de uma grandeza após fracionamento
3.44	determinação aproximada de uma grandeza via Dimensão Fractal
3.45	forma log-log para plotagem de uma grandeza com valor aproximado via Dimensão Fractal
3.46	expressão aplicável a Difusor Fractal unidimensional
3.47	expressão aplicável a Difusor Fractal bidimensional
3.48	a teoria de Rayleigh sobre modos axiais numa sala retangular
3.49	atenuação acústica típica de tubos com revestimento interno

3.50	atenuação de câmara plenum convencional
3.51	PT (Perda de Transmissão) de câmaras de expansão

CAPÍTULO 4

TABELA	DESCRIÇÃO
4.1	FTC – Fator de Transmissão de Campo, ou sensibilidade de microfone gradiente de pressão
4.2	sensibilidade de microfones (S_v)
4.3	voltagem a Circuito Aberto de microfone (TCA)
4.4	campo Acústico Conhecido (CAC)
4.5	nível de Potência de microfone (S_{np})
4.6	cálculo de sensibilidade de microfone partindo de S_{np}
4.7	cálculo de Impedância de microfone (Z)
4.8	sensibilidade EIA de microfone (G_m)
4.9	cálculo de sensibilidade de microfone partindo de G_m
4.10	cálculo de impedância média de microfone partindo de G_m
4.11	ruído Térmico de microfone (TN)
4.12	relação S/R de microfone
4.13	ruído de Entrada Equivalente em microfone (REE)
4.14	cálculo de relação S/R de microfone partindo de S_{np} e de REE
4.15	frequência de ressonância de filtro ressonante
4.16	cálculo de frequência superior de filtro de oitava, partindo da frequência inferior
4.17	cálculo de frequência superior de filtro de meia oitava, partindo da frequência inferior
4.18	cálculo da frequência central de um filtro passa bandas ou rejeita bandas, partindo das frequências de corte superior e inferior
4.19	cálculo da frequência de corte superior partindo da frequência central
4.20	cálculo da frequência de corte inferior partindo da frequência central
4.21	cálculo do fator de seletividade (Q) de um filtro
4.22	fator de amortecimento de amplificador
4.23	cálculo da impedância de saída (Z_A) de amplificador

4.24	sensibilidade de alto-falante
4.25	voltagem de saída de amplificador, em função da impedância de carga e da potência de saída
4.26	valor médio de vários níveis de pressão sonora
4.27	cálculo da Relação de Diretividade (Q) de alto-falante
4.28	cálculo da Relação de Diretividade Geométrica (QG) de alto-falante
4.29	cálculo da Relação de Diretividade Geométrica (QG) de alto-falante com dispersão cônica
4.30	índice de Diretividade (DI) de alto-falante
4.31	cálculo de Relação de Diretividade de alto-falante em função do Índice de Diretividade
4.32	nível de pressão sonora num recinto fechado em função de potência acústica
4.33	nível de pressão sonora num recinto fechado em função da Constante do Ambiente (R) e da eficiência do alto-falante utilizado
4.34	eficiência de alto-falante
4.35	sensibilidade de alto-falante função de seu Índice de Diretividade (DI) e de sua eficiência
4.36	eficiência de alto-falante função de sua sensibilidade e de seu Índice de Diretividade (DI)
4.37	igualdade da eficiência de alto-falante
4.38	índice de Diretividade (DI) de alto-falante função de sua sensibilidade, do nível de pressão sonora e da Constante do Ambiente (R)
4.39	versão simplificada do Índice de Diretividade (DI) de alto-falante função de sua sensibilidade, do nível de pressão sonora e da Constante do Ambiente (R)
4.40	aumento da resistência ôhmica da bobina móvel com a passagem de corrente elétrica
4.41	eficiência de alto-falante função de seus próprios parâmetros

CAPÍTULO 5

TABELA	DESCRIÇÃO
5.1	atenuação em função da distância e da quantidade de energia
5.2	lei dos Inversos dos Quadrados
5.3	atenuação do Campo Direto
5.4	atenuação do Campo Reverberante
5.5	atenuação do Campo Total
5.6	atenuação com a distância (V. Peutz)
5.7	igualdade de atenuações
5.8	distância Crítica (D_C)
5.9	distância Crítica (D_C) com modificadores
5.10	operador Multiplicador (M)
5.11	coeficiente de Relação Cruzada Interaural
5.12	fator de Força G ou Fator de Claridade C_{80}

CAPÍTULO 6

TABELA	DESCRIÇÃO
6.1	distância Acústica Equivalente (EAD)
6.2	quantidade de Microfones Simultaneamente Abertos (NOM)
6.3	quantidade total de falantes (N)
6.4	tempo versus velocidade versus distância
6.5	Índice Percentual de Perda de Articulação Consonantal (AL_{CONS} %)
6.6	distância Limite (D_L)
6.7	Índice Percentual de Perda de Articulação Consonantal (AL_{CONS} %) para distâncias superiores a D_L
6.8	D_2 máxima
6.9	Q mínimo
6.10	V mínimo
6.11	RT_{60} máximo
6.12	igualdade da distância crítica
6.13	Q em função da distância crítica
6.14	$S_{\bar{a}}$ em função da distância crítica
6.15	aumento da distância crítica em função do aumento de Q
6.16	aumento da distância crítica em função do aumento de $S_{\bar{a}}$
6.17	redução da frequência de modulação
6.18	relação S/R aparente
6.19	ganho de sistema
6.20	ganho Acústico Necessário (NAG)
6.21	ganho Acústico Potencial (PAG)
6.22	igualando NAG e PAG
6.23	simplificando a igualdade $NAG = PAG$
6.24	ΔD_2 máxima
6.25	ΔD_S máxima

6.26	ΔD_1 mínima
6.27	ΔEAD mínima
6.28	NOM máxima
6.29	condicionante de projeto para a localização dos microfones
6.30	condicionante de projeto
6.31	limitação para aplicação de fonte única
6.32	limite para EAD
6.33	Potência Elétrica Necessária (EPR)
6.34	Potência Elétrica Necessária Total (EPR Σ)
6.35	nível Máximo de Programa
6.36	atenuação com a distância para distâncias inferiores à distância crítica
6.37	atenuação com a distância para distâncias superiores à distância crítica
6.38	quantidade de calor transferida por unidade de tempo
6.39	cálculo do fluxo de ar – CFM (cubic feet per minute)
6.40	quantidade de calor cedida por amplificador
6.41	quantidade de calor no interior do rack
6.42	cálculo da área de grelhas

CAPÍTULO 7

TABELA	DESCRIÇÃO
7.1	relação entre distâncias numa pilha de alto-falantes
7.2	frequência Limiar Inferior (FLI)
7.3	frequência Limiar Superior (FLS)
7.4	Fator de Aumento de Diretividade (K)
7.5	aumento de diretividade numa pilha de falantes
7.6	Fator de Aumento de Diretividade (K) expresso em decibéis
7.7	radiação de pressão sonora
7.8	atenuação com a distância de frente de onda coerente (line array)
7.9	cálculo do campo próximo
7.10	comprimento de onda da mais baixa frequência que pode ser reproduzida por um sistema line array

CAPÍTULO 8

TABELA	DESCRIÇÃO
8.1	lei de Ohm
8.2	reatância capacitiva
8.3	reatância indutiva
8.4	reatância total
8.5	módulo da impedância
8.6	reatância total função da impedância e do componente resistivo
8.7	ângulo de fase de impedância
8.8	corrente elétrica função da voltagem e da resistência
8.9	cálculo de impedância em função de outra, referência, e das voltagens sobre ambas
8.10	corrente elétrica que flui por um circuito
8.11	potência elétrica dissipada na fonte
8.12	potência elétrica dissipada na carga
8.13	voltagem sobre a carga
8.14	campo magnético num condutor
8.15	frequência de corte de blindagem
8.16	impedância diferencial de saída
8.17	cálculo do resistor R_1 no atenuador U
8.18	cálculo do resistor R_2 no atenuador U
8.19	cálculo do resistor R_1 no atenuador π
8.20	cálculo do resistor R_2 no atenuador π
8.21	cálculo do resistor R_3 no atenuador π
8.22	impedância de associação em paralelo de duas impedâncias
8.23	impedância de associação em série de duas impedâncias
8.24	impedância de associação em paralelo de “n” impedâncias
8.25	impedância de associação em série de “n” impedâncias

TABELA	DESCRIÇÃO
9.1	intensidade de Campo
9.2	voltagem de ruído sobre impedância de valor relativamente pequeno
9.3	voltagem de ruído sobre impedância de valor relativamente elevado
9.4	fluxo magnético
9.5	indutância mútua
9.6	voltagem induzida por acoplamento magnético
9.7	voltagem induzida por acoplamento magnético, função da indutância mútua
9.8	relação entre os campos elétrico e magnético
9.9	frequência em função do período
9.10	resistência de eletrodo para a terra

CAPÍTULO 12

TABELA	DESCRIÇÃO
12.1	atenuação de voltagens
12.2	fator K para cálculo de resistores de atenuadores
12.3	relação de resistores no atenuador tipo “L”
12.4	passo de cálculo para atenuador de configuração híbrida
12.5	cálculo de atenuador de perda mínima
12.6	saída de um sistema em regime de realimentação
12.7	ganho final de um sistema em regime de realimentação

APÊNDICE A

TABELA	DESCRIÇÃO
A.1	cálculo do nível de som equivalente
APÊNDICE B	

TABELA	DESCRIÇÃO
B.1	cálculo de potência partindo de voltagem e de corrente elétrica
B.2	quantidade de calor dissipado
B.3	impedância função da voltagem e da potência
B.4	impedância função da voltagem e da corrente elétrica
B.5	impedância função da potência e da corrente elétrica
B.6	perda em decibéis resultante da impedância da linha de 70,7 volts sem carga
B.7	potência resultante da impedância primária do transformador de linha para bobina móvel
B.8	EPR em sistemas de 70,7 volts
B.9	impedância mínima de carga em sistemas de 70,7 volts

APÊNDICE C

TABELA	DESCRIÇÃO
C.1	quantidade de bits necessários para codificar um número inteiro determinado
C.2	representação de um número em código binário
C.3	relação sinal/ruído para sinais quantizados com palavras de n-bits
C.4	relação sinal/ruído para sinais quantizados com palavras de n-bits, em decibéis

APÊNDICE D

TABELA	DESCRIÇÃO
D.1	taxa de variação de frequência
D.2	relação entre o equivalente espacial da banda passante, a banda passante, a velocidade do som e a taxa de variação de frequência
D.3	módulo de impedância
D.4	ângulo de fase associado
D.5	magnitude de um sinal de áudio em função de seus componentes real e imaginário
D.6	ângulo de fase em função de seus componentes real e imaginário
D.7	fase absoluta
D.8	fase relativa
D.9	atraso de fase

APÊNDICE E

TABELA	DESCRIÇÃO
E.1	Sones
E.2	Phons

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

apêndice H

FFT ou Fast Fourier Transform



APÊNDICE H - FFT, OU FAST FOURIER TRANSFORM

H.1 QUEM FOI FOURIER

H.2 O MISTÉRIO DA TRANSFORMADA H.3 A ANÁLISE DE FOURIER

H.4 TRANSFORMADA DISCRETA FINITA (DFT) H.5 A ANÁLISE DO CEPSTRUM

APÊNDICE H - FFT, OU FAST FOURIER TRANSFORM

H.1 QUEM FOI FOURIER

França, 1.978. Nascia Jean Baptiste Joseph Fourier. Graças a Deus.

Mais tarde, um respeitável Barão. Mas antes disso, ficou órfão aos 8 anos de idade.

Por influência de um bispo, foi admitido na Escola Militar de Auerre. O bispo não se desapontaria com seu protegido. Muito cedo, Fourier já exibia seu excepcional talento para a matemática, e um sempre presente toque de gênio.

Pesquisador nato, físico brilhante e matemático até as entranhas, Fourier morreu em 1.830, na cidade de Paris. Ao cair de uma escada.

Com todas as suas credenciais, esse homem extraordinário nos legou alguns trabalhos que, sem qualquer favor, são peças raras entre as mais raras obras da arte científica.

H.2 O MISTÉRIO DA TRANSFORMADA Para muitos, Transformada de Fourier é apenas a lembrança desagradável de uma operação matemática muito chata e complicada. Algo como uma névoa espessa e indefinida, de números e símbolos esquisitos e estranhos, com significados inexplicáveis.

Para outros, não quer dizer nada.

E evidentemente, há os que a conhecem.

Desculpem a guinada. Mas vamos falar um pouco de futebol.

Como hoje é domingo, estamos interessados no clássico de logo mais. E já resolvemos. Vamos ao estádio.

Após enfrentar o trânsito, as filas e o empurra empurra de sempre, já estamos nas arquibancadas. Mas não nos sentamos logo. Estamos procurando o melhor lugar. Percorremos o estádio com os olhos, e definimos um cantinho. Nos dirigimos para lá.

Mais empurra empurra. E ao chegar ao local escolhido, vemos que havíamos nos enganado.

Olhando dali, a perspectiva do campo não parece tão boa quanto havíamos imaginado.

Afinal, qual é o melhor lugar?

Isso realmente não importa. Mas devemos estar de acordo que a qualidade do espetáculo em si depende de como o vemos. Ou seja, do quadro referencial utilizado pelo espectador para apreciá-lo.

Reflita um pouco sobre essa idéia corriqueira.

Será que ela não é extensível a muitas outras coisas no mundo?

Pense num simples óculos de leitura. Ou em lunetas astronômicas. Ou nas miras laser dos rifles modernos. Ou no sujeito baixinho que, atrás da multidão, fica na pontinha dos pés para “ver” melhor a parada de rua. Ou tente comparar o mesmo programa de TV, visto a cores e em preto e branco.

O que é tudo isso senão um modo de alterar o quadro referencial de observação do mesmo evento?

“E daí?” perguntarão vocês. O que tudo isso a ver com a transformada de Fourier?

Resposta: tem tudo a ver.

A transformada de Fourier é apenas uma maneira de mudar o quadro referencial pelo qual um fenômeno pode ser descrito. Sem alterar-lhe qualquer predicado ou característica.

É como um jogo de futebol. Podemos assisti-lo sentados na parte mais alta das arquibancadas, bem no centro do campo. Ou atrás do gol, no plano da cancha. O jogo terá sido o mesmo, independentemente do lugar que o tenhamos assistido.

Sabemos que segundo é unidade de medida de tempo. Assim como o Hertz é unidade de medida de frequência.

Não por acaso, esta segunda unidade é o inverso da primeira.

Bingo! Então podemos usar a Transformada de Fourier para converter alguma coisa que seja função do tempo em outra coisa, que passará a ser função da frequência? Claro. A idéia é exatamente essa.

A figura H.1 mostra um sistema simples de representação gráfica, com o qual aprendemos a lidar ainda no ginásio.

Ele é composto por dois eixos ortogonais, usualmente denominados X (o horizontal), e Y (o vertical).



Figura H.1 sistema de representação com eixos ortogonais (X e Y) acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Isto é o que os cientistas chamam de sistema bidimensional. Porque estão envolvidas duas dimensões. Alargura (X) e a altura (Y).

Esses dois eixos definem um plano. No caso da figura H.1, o plano do papel.

Trata-se de um quadro referencial suficiente o bastante para caracterizar completamente muitos eventos. Como qualquer cena do cotidiano captada numa fotografia. Ou até mesmo este livro.

Se aplicarmos o conceito da Transformada de Fourier a esse sistema de representação, então teremos um outro sistema, ou um outro quadro referencial, também bidimensional, mas no qual as distâncias não seriam mais medidas em milímetros, mas em inversos de milímetros.

Parece complicado? Tudo bem, não se desespere. Vamos ver isso com uma lente de aumento.

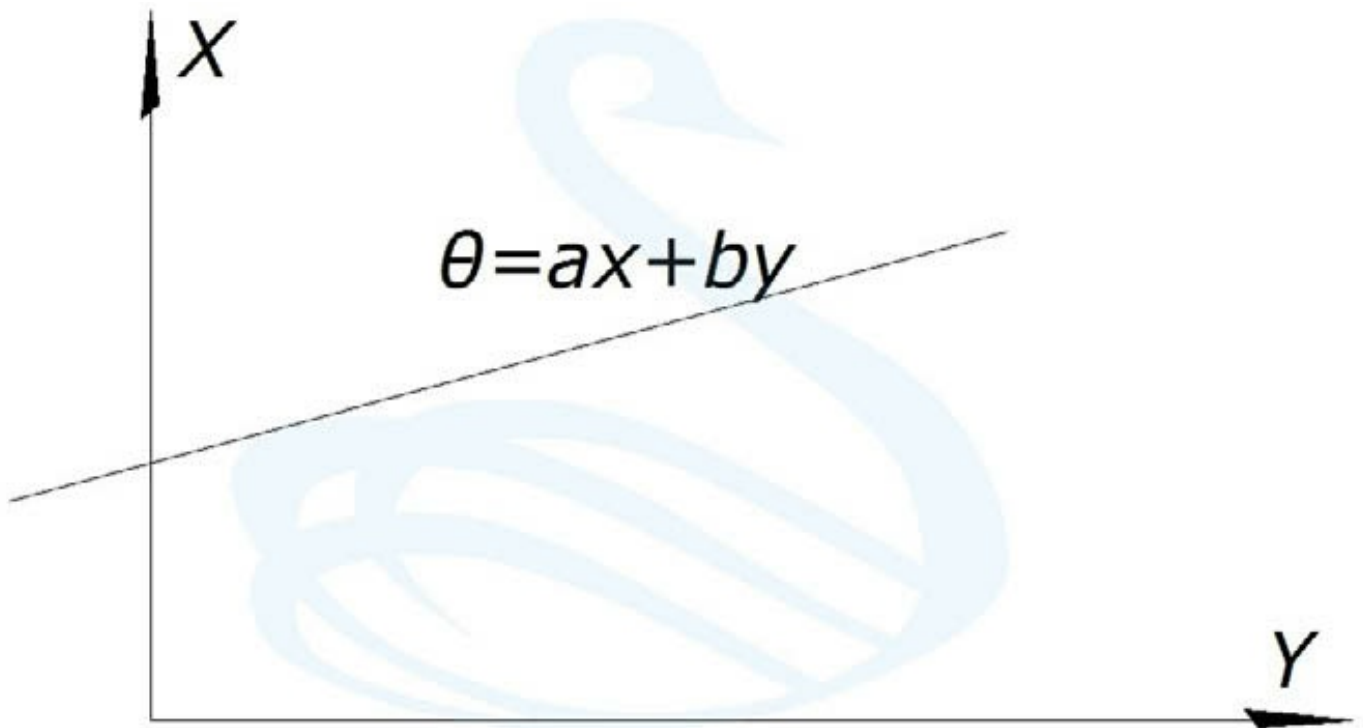


figura H.2 uma reta desenhada no quadro referencial da figura H.1
 acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A figura H.2 mostra uma reta desenhada no mesmo quadro referencial da figura H.1.

A equação que define a exata localização da reta é

$$\theta = a.x + b.y \quad (H.1)$$

Os termos **a** e **b** desta equação são chamados coeficientes, e eles definem o ângulo que a reta faz com os eixos **x** e **y**. A constante mostra onde a reta intercepta os dois eixos.

Se você entendeu isso, ótimo. Se não, não se preocupe.

O exemplo que segue é para tirar quaisquer dúvidas que ainda possam existir.

Atribua um valor a **a**. Por exemplo, 3.

Agora, atribua um valor a **a**, por exemplo 1/2, e outro a **b**, por exemplo 1.

Isto feito, atribua um valor a **x**, por exemplo 1. E agora calcule **y** usando a equação H.1:

$$y = \frac{\theta - a.x}{b} = \frac{3 - 1/2}{1} = 2,5$$

Como $x = 1$ e $y = 2,5$, já temos um primeiro par ($x ; y$), ou (1; 2,5).

Se atribuirmos agora um novo valor a **x**, por exemplo 2, e mantivermos os demais valores, podemos calcular

$$y = \frac{\theta - a.x}{b} = \frac{3 - 1}{1} = 2$$

O que nos dá outro par ($x ; y$), isto é, (2, 2).

Se construirmos um sistema de representação como o da figura H.1, com os eixos **x** e **y** graduados, e marcarmos os pontos (1; 2,5) e (2, 2), bastará uni-los para definir exatamente a

localização da reta.

Se você quiser tirar a prova dos nove, calcule outros pares $(x ; y)$, marque-os no mesmo sistema de representação, para ver que eles vão cair exatamente sobre a reta já traçada.

Muito bem. Chegamos até aqui.

Agora estamos interessados em construir um novo sistema de representação, também bidimensional, que mantenha a mesma relação espacial entre os eixos x e y .

Mas queremos mais. Que nossos eixos sejam a e b . Isso mesmo, os coeficientes a e b da equação H.1.

Então, devemos observar que a nova relação entre a e x é toda especial. O mesmo ocorrendo com a relação entre b e y .

Essas relações são especiais porque os produtos dos eixos devem ser adimensionais. Com efeito, quando multiplicamos milímetros por inversos de milímetros, realmente acabamos com entidades adimensionais.

Difícil de dizer, fácil de escrever. Matematicamente, podemos expressar essas relações especiais da seguinte maneira:

$$a.x = \text{constante} \quad (\text{H.2})$$

$$b.y = \text{constante} \quad (\text{H.3})$$

Voltemos ao sistema da figura H.1.

Suponha que tenhamos interesse em descobrir qual é exatamente a reta específica que passa por um ponto particular, digamos (X_0, Y_0) .

Tudo o que temos a fazer é atribuir um valor próprio para . Então, teremos o que mostra a figura H.3.

Curiosos que somos, desejamos saber qual é a aparência dos eventos do sistema XY (o que tem os eixos x e y), quando representados no sistema AB (o que tem os eixos a e b).

A relação pode ser estabelecida em termos de diversas retas do sistema XY que passam pelo ponto (X_0, Y_0) , cada uma delas fazendo ângulo diferente com os eixos x e y .

Cada uma dessas retas mostra que coordenadas de localização a e b contém as informações dos valores de x e y sobre si próprias.

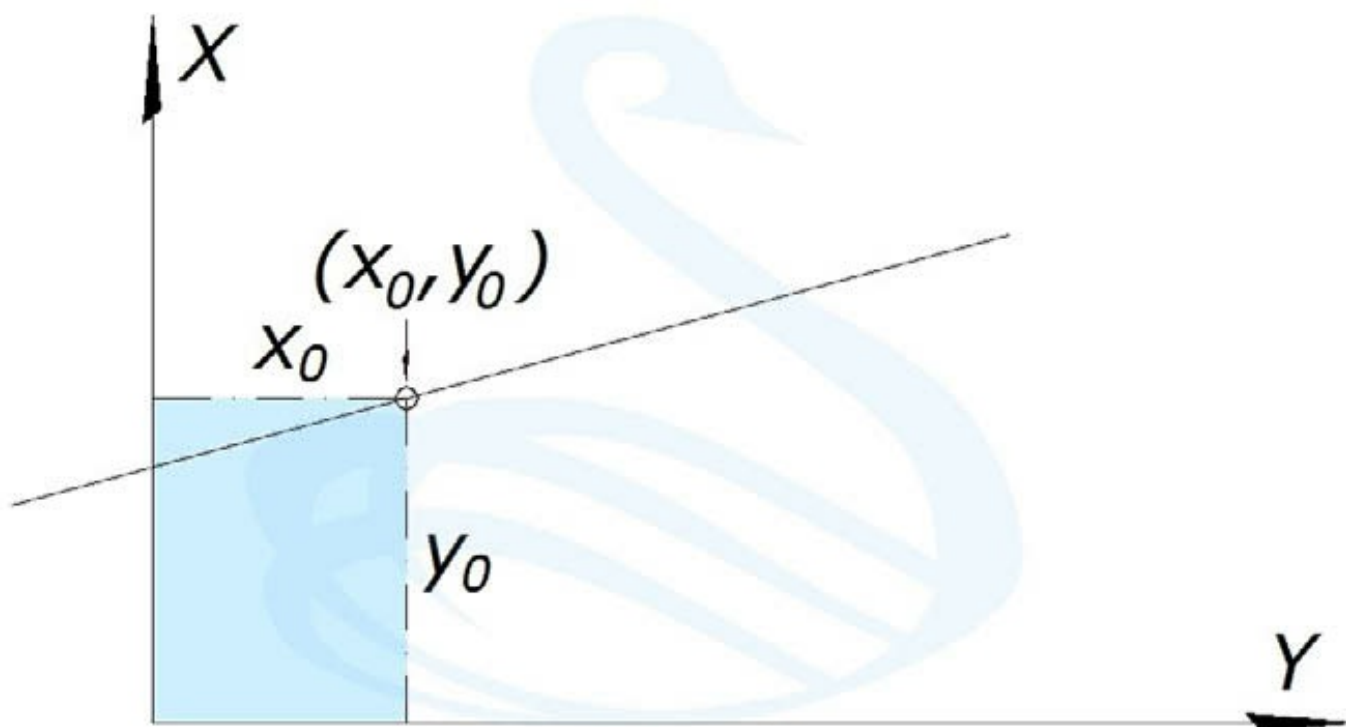


figura H.3 a figura H.2 com o ponto (X_0, Y_0) assinalado na reta acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne

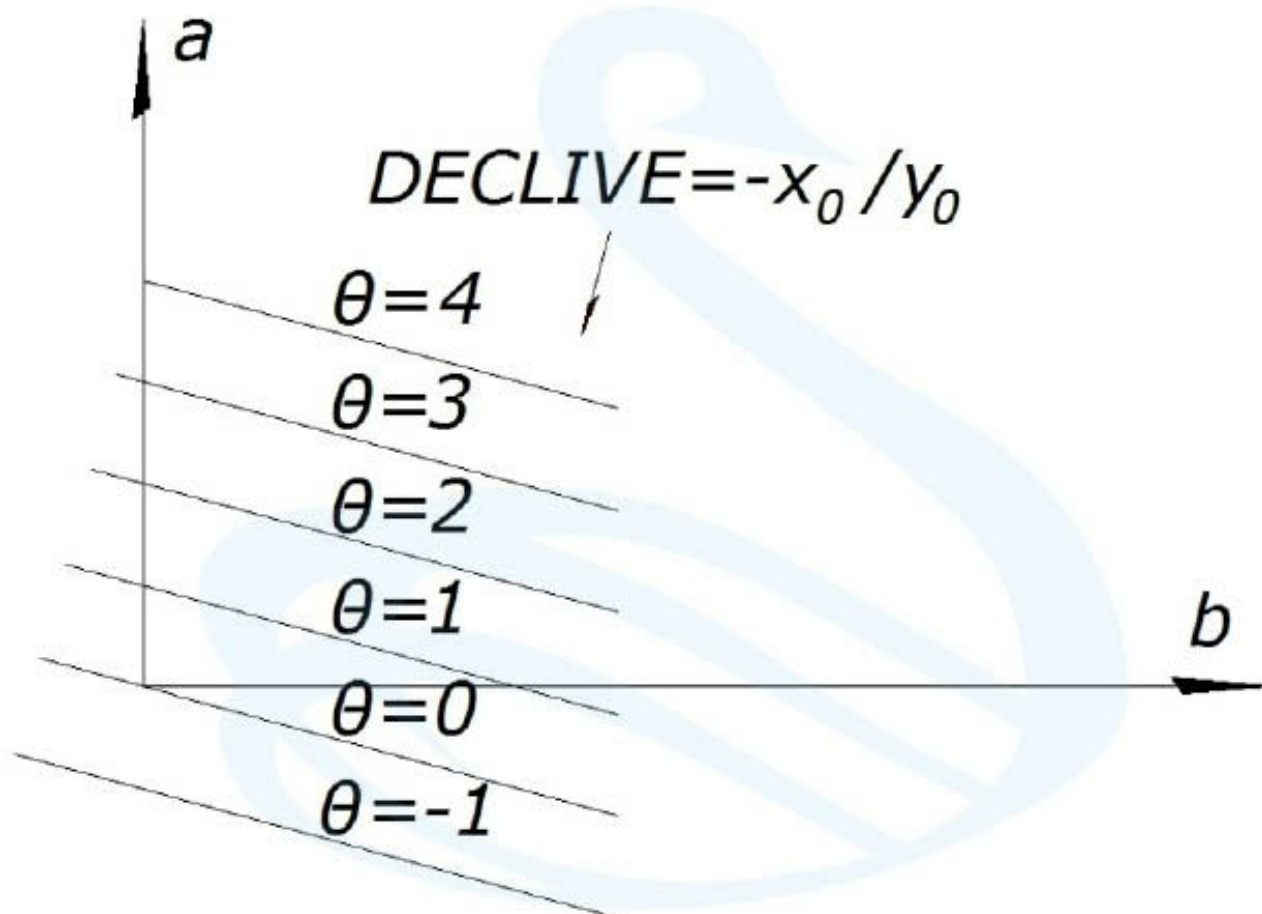


figura H.4 a representação da reta no sistema AB
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Desde que passem pelo ponto (X_0, Y_0) , independentemente do ângulo que façam com os eixos x e y, o resultado no sistema AB será uma outra reta com inclinação constante. Como mostra figura H.4. E a equação da reta no sistema AB passa a ser

$$\theta = X_0 \cdot a + Y_0 \cdot b \quad (\text{H.4})$$

Agora, desejamos saber qual é a aparência do ponto (X_0, Y_0) do sistema XY, quando

representado no sistema AB.

Imagine que seja possível pegar uma das diversas retas que passam pelo ponto (X_0, Y_0) do sistema XY, e girá-la como se fosse a pá de um ventilador, sendo o ponto (X_0, Y_0) o centro de giro.

É aqui que entra em cena o ângulo .

Se tomarmos o valor do sinal num ponto do sistema XY e o multiplicarmos pelos ângulos que fazem todas as linhas que passam por aquele ponto, veremos que esse mesmo ponto no sistema AB acaba sendo distribuído por toda a superfície do novo sistema de representação.

A tradução matemática para isso é:

$$e^{i\theta} \quad (H.5)$$

Uma vez aceita essa expressão, e vendo o que ela representa no sistema AB, constatamos que cada ponto do sistema XY é representado por uma frente de onda no sistema AB.

Como ilustra a figura H.5.

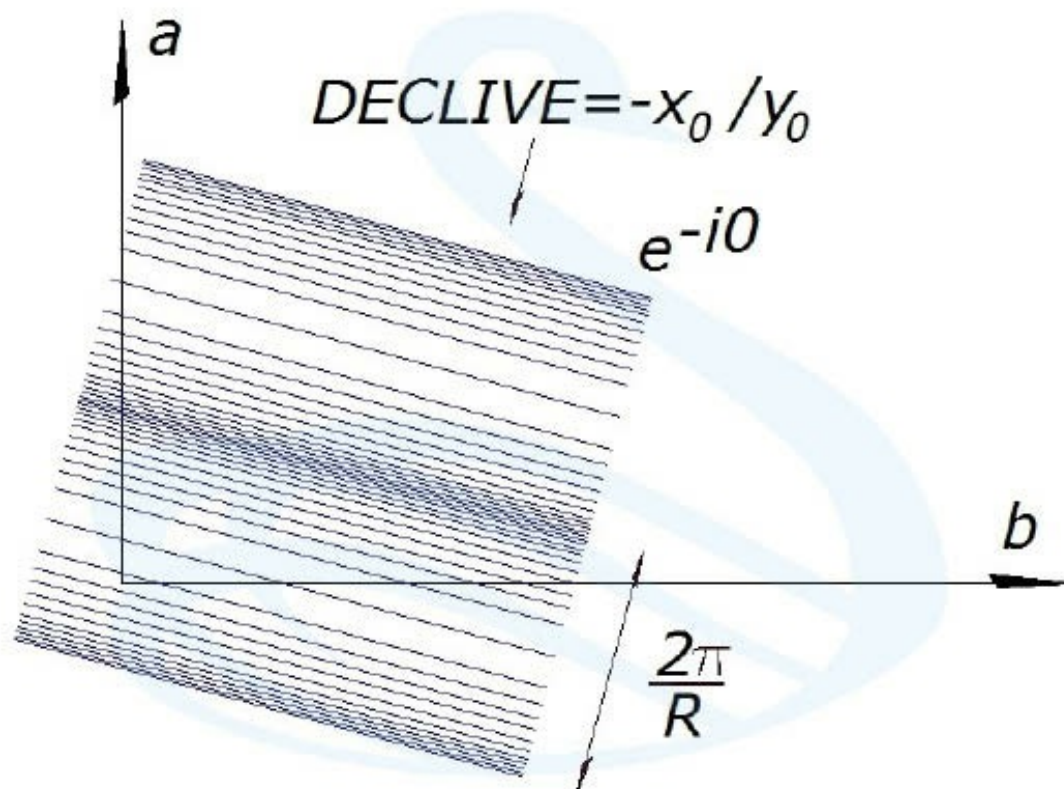


figura H.5 o ponto do sistema XY, representado como uma frente de onda no sistema AB
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O período da frente de onda no sistema AB é a recíproca da distância entre o ponto considerado e o ponto de origem do sistema XY, como mostra a figura H.6.

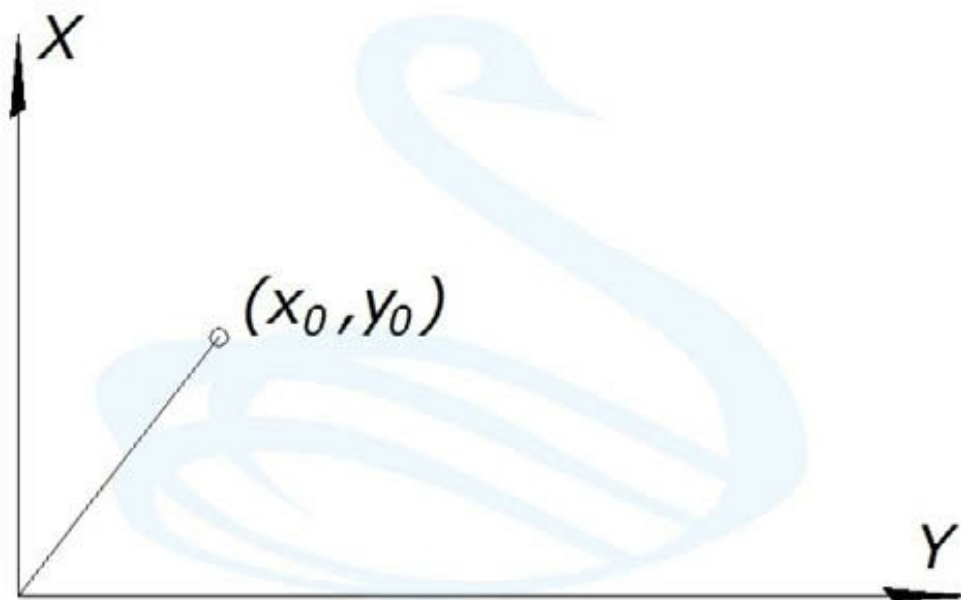


figura H.6 a recíproca do período representado no sistema AB
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O ângulo da frente de onda no sistema AB é ortogonal ao ângulo que a reta que liga o ponto e o a origem no sistema XY faz com os eixos x e y.

Bem, o mais importante de tudo é sabermos que os dois sistemas, XY e AB são apenas formas diferentes de se olhar para a mesma coisa. O sistema AB é chamado Transformada de Fourier do sistema XY.

Como os dois sistemas são recíprocos, assim como qualquer ponto no sistema XY aparece como uma frente de onda no sistema AB, qualquer ponto no sistema AB também aparece como uma frente de onda no sistema XY.

A relação entre os dois sistemas também pode ser feita através de equações de onda. Usando nossa terminologia

$$\Delta x . \Delta a \geq \text{número} \quad (\text{H.6})$$

$$\Delta y . \Delta b \geq \text{número} \quad (\text{H.7})$$

O operador D que aparece nas expressões H.6 e H.7 informa que os parâmetros **x**, **y**, **a** e **b** podem ser tão pequenos quanto queiramos, com a única condição de que ainda contenham suas próprias características originais.

A soma de todas as contribuições de cada um dos pontos do sistema XY chama-se integração. Como estamos lidando com um sistema bidimensional, a integração é expressa por

$$h_{(a,b)} = \int \int_{-\infty}^{+\infty} g(x,y) e^{i\theta} dx.dy \quad (\text{H.8})$$

Por favor, não se assuste com a expressão H.8. Nem se impressione com ela.

Seu tratamento matemático e dificuldade de análise são realmente muito menos importantes do que as idéias que conduzem a ela.

H.3 A ANÁLISE DE FOURIER

Trabalhando com séries trigonométricas do tipo

$$\frac{1}{2}a_0 + (a_1 \cdot \cos x + b_1 \cdot \sin x) + (a_2 \cdot \cos x + b_2 \cdot \sin x) + \dots$$

Fourier demonstrou que qualquer forma de onda no domínio do tempo, por mais complexa que seja, é sempre composta de uma série de frequências sinusoidais individuais, cada qual com sua própria amplitude. E que, portanto, qualquer forma de onda pode ser transformada nessas diversas componentes.

É isso o que se chama de análise de Fourier. A figura H.7 procura ilustrar esse aspecto.

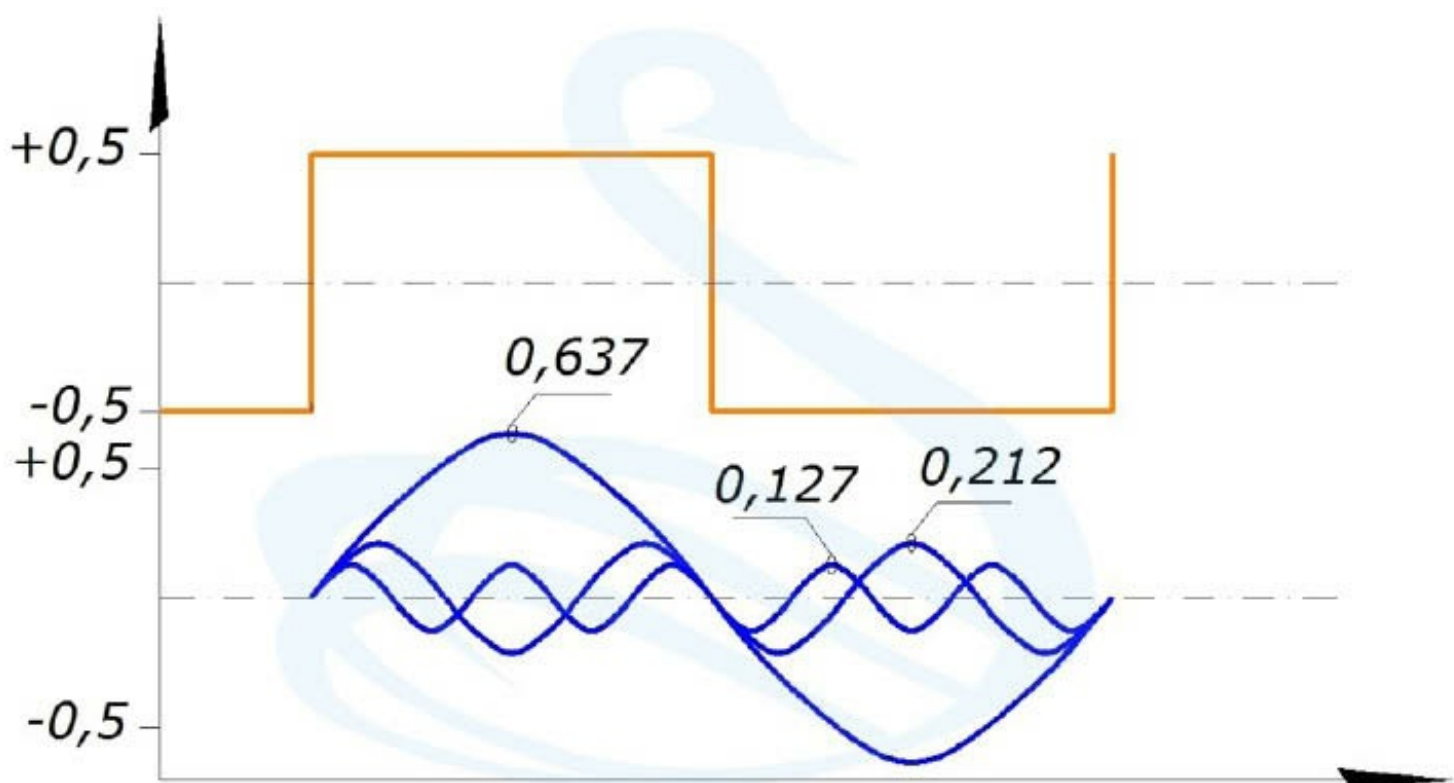


figura H.7 exemplo de transformação de forma de onda complexa em suas componentes acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne A onda quadrada de 10 kHz tem amplitude de 1 volt pico a pico. Ela pode ser decomposta numa onda sinusoidal de 10 kHz, com amplitude de 1,27 volts pico a pico, noutra de 30 kHz com amplitude de 0,424 volts pico a pico, noutra de 50 kHz com amplitude de 0,254 volts pico a pico, e assim por diante.

Aliás, como já havíamos visto no capítulo 3.

Fourier pensou em avaliar suas próprias séries deixando o período da forma de onda se aproximar do infinito, o que explica o $-\infty$ e o $+\infty$ da expressão H.8.

Assim, a Transformada de Fourier é utilizada em áudio para converter uma função de tempo numa função de frequência.

O par de equações que caracteriza a Transformada de Fourier é:

$$S_x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-i\pi f t} dt \quad (H.9)$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_x(f) e^{i\pi f t} df \quad (H.10)$$

A equação H.9 é conhecida como Transformada Direta de Fourier e a equação H.10 como Transformada Inversa de Fourier.

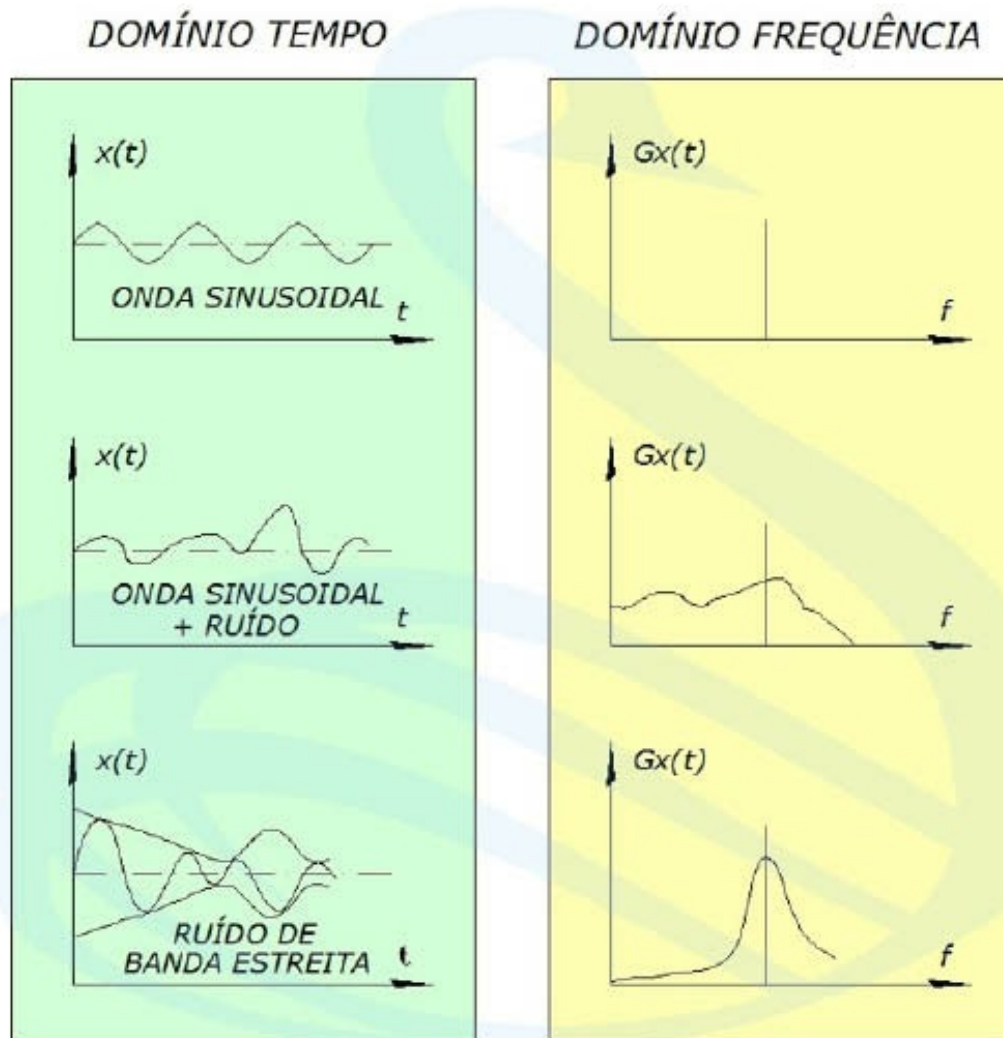


figura H.8 representação das formas de onda nos domínios do tempo e da frequência acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne O termo da equação H.10 é denominado kernel da transformada, é igual a $\cos(2\pi f t) \pm \sin(2\pi f t)$.

O termo $S_x(f)$ é a transformada de $x(t)$, e traz em seu bojo as informações de amplitude e de fase de qualquer frequência presente em $x(t)$, não obrigando que esta seja uma função periódica, como mostra a figura H.9.

H.4 TRANSFORMADA DISCRETA FINITA (DFT) É possível utilizar um computador para calcular a Transformada de Fourier de um sinal cuja voltagem seja variável com o tempo. É exatamente o que fazem os analisadores Fourier.

Para tanto, é preciso tomar uma forma de onda $x(t)$ analógica, e medir suas amostras, espaçadas a intervalos regulares de tempo.

Para que seja possível calcular a integral correspondente à Transformada Direta, os intervalos regulares de tempo deveriam tender a zero.

Mas, dadas as limitações dos conversores A/D, isso não é factível.

Consequentemente, é preciso empregar outro processo. Que consiste em calcular O que a equação H.11 nos mostra é que agora estamos lidando com uma soma de amostras. O que não impede que possam ser feitos cálculos matematicamente válidos da Transformada de Fourier.

$$S_x''(f) = t \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x(nt) e^{-i2\pi fnt} \quad (H.11)$$

Contudo, esta transformada já não contém informações precisas sobre magnitude e fase de todas as frequências contidas em $S_x(f)$, já que há um limite de frequência imposto pelo próprio espaçamento entre as amostras. Esse limite é denominado $f_{\max}$.

Por outro lado, o cálculo de $S_x''(f)$ deveria ser feito com infinitas amostras da forma de onda original. Como essas amostras são separadas por intervalos finitos de tempo, o cálculo demoraria toda a eternidade. Literalmente falando.

Na prática, a inconveniência pode ser eliminada se limitarmos o tempo de observação. Por exemplo, de zero a t segundos.

Se chamarmos de Δt ao intervalo de tempo entre as amostras, podemos escrever

$$\frac{t}{\Delta t} = n \quad (H.12)$$

sendo n a quantidade de amostras Então, a equação H.11 pode ser reescrita para

$$S_x'(m\Delta f) = t \sum_{n=0}^{n=1} x(n\Delta t) e^{-i2\pi m\Delta f n\Delta t} \quad (H.13)$$

A equação H.13 é apenas uma versão resumida da equação H.11, por considerar uma quantidade finita de amostras. E ainda assim, não de forma contínua, mas de forma discreta.

Por isso, ela leva o nome de Transformada Discreta Finita, ou DFT para Discrete Finite Transform, ou Transformada Rápida de Fourier, ou FFT, para Fast Fourier Transform.

Para descrever completamente a frequência no espectro, dois valores devem ser calculados. A magnitude e a fase. Com suas partes reais e imaginárias.

Consequentemente, as n amostras no domínio do tempo nos permitem definir $n/2$ quantidades complexas no domínio da frequência.

Shannon e Nyquist nos informam ainda que a definição completa de um sinal sinusoidal requer algo mais do que duas amostras por período. Isto é, devemos ter

$$\frac{1}{2}\Delta t > f_{\max} \quad (\text{H.14})$$

Tudo o que acabamos de ver, aplicável à transformada direta, também é aplicável à transformada inversa.

Pode-se concluir que a tecnologia digital possibilita obter a FFT e seu inverso.

H.5 A ANÁLISE DO CEPSTRUM

Este é nome (diga **Quepstrum**) dado ao conjunto de técnicas nas quais as funções são o espectro do espectro logarítmico.

O Cepstrum foi inicialmente definido como o espectro de potência do espectro logarítmico de potência. Presume-se que, por ter sido definido como um espectro de espectro, o termo foi obtido por inversão das letras do termo espectro (em inglês, Cepstrum é Spectrum escrito com as quatro primeiras letras invertidas).

Da mesma forma que Quefrency (Quefrência) foi derivada de Frequency. Esta indica as coordenadas do Cepstrum. E assim surgiram termos como Rahmonics (Rahmônicas), derivado de Harmonics, Lifter (**Liftró**), derivado de Filter, Gamnitude (**Gamnitudo**), derivado de Magnitude, Saphe (**Safe**), derivado de Phase, porquanto termos como **Short Pass Lifter** e **Low Pass Lifter** foram cunhados para qualificar filtragens, digo liftragens, no domínio do Cepstrum.

A definição atual de Cepstrum é a Transformada Inversa de Fourier do espectro logarítmico de potência. Este é o Cepstrum de potência, para denotar sua origem.

Matematicamente, podemos escrever

$$C_{AA}(\tau) = F^{-1}\{\log S_{AA}(f)\} \quad (\text{H.15})$$

onde

- $C_{AA}(\tau)$ é o Cepstrum de potência
- F^{-1} é a Transformada Inversa de Fourier, e
- $S_{AA}(f)$ é o espectro de potência de um sinal variável com o tempo, tal que $S_{AA}(f) = |\overline{F\{a(t)\}}|^2$. F representa a Transformada Direta, e a barra superior significa que a figura é a média de uma quantidade determinada de amostras

O Cepstrum complexo, derivado do espectro complexo, usa informações de fase e de amplitude logarítmica para cada frequência, e pode ser matematicamente equacionado como segue:

$$C_A(\tau) = F^{-1}\{\log A(f)\} \quad (H.16)$$

sendo

$$A(f) = F\{a(t)\} = A_{\text{REAL}}(f) + iA_{\text{IMAGINÁRIO}}(f) \quad (\text{H.17})$$

Desse modo, a equação H.16 está proposta em termos de partes reais e imaginárias. Em termos de amplitude e de fase para cada frequência, a expressão H.17 passa a ser

$$A(f) = |A(f)| e^{i\phi(f)} \quad (\text{H.18})$$

Se aplicarmos o logaritmo complexo à equação H.18, teremos

$$\log A(f) = \ln |A(f)| + i\phi(f) \quad (\text{H.19})$$

Esta é uma função complexa da frequência. A parte real é o logaritmo da amplitude, e a parte imaginária é a fase. Quando esta função é inversamente transformada, temos a equação que define o Cepstrum complexo, isto é:

$$C_A(\tau) \quad (\text{H.20})$$

Para que se tenha uma noção clara da aplicação prática, do uso das técnicas envolvendo FFT e de seu real potencial, elaborei a figura H.9, que é a plotagem da análise feita pelo Smart Pro - módulo Analysis, de uma onda quadrada, com frequência de 250 Hz.

O eixo vertical do gráfico está graduado em dB, e o eixo horizontal representa as frequências, abarcando de 0 a pouco mais de 10.000 Hz.

Inicialmente, percebe-se a frequência fundamental à esquerda da figura, com amplitude no nível de referência, isto é, 0 dB.

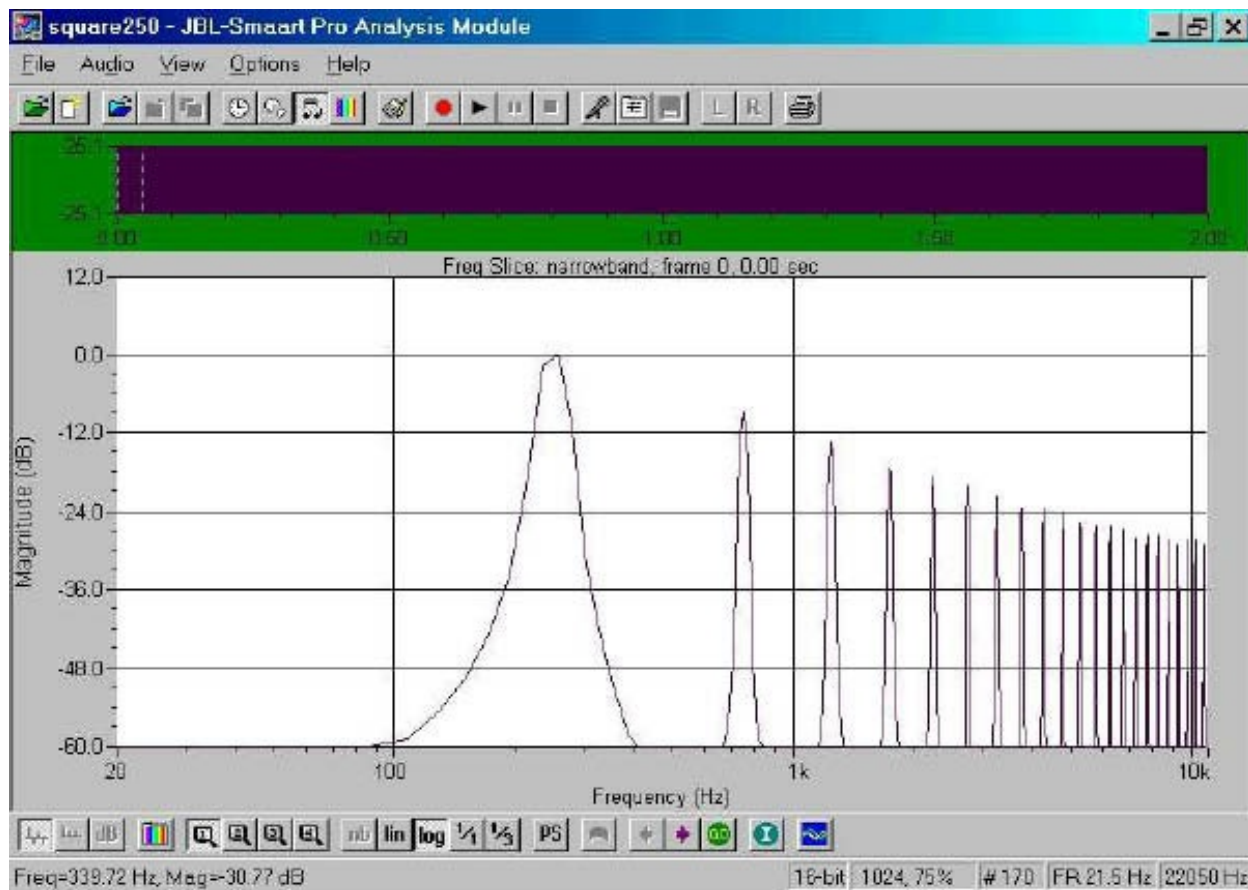


figura H.9 análise FFT de uma onda quadrada de 250 Hz, feita pelo Smaart Pro – Módulo Analysis acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne Falamos anteriormente das harmônicas das ondas quadradas.

Agora podemos “visualizá-las” claramente. São os picos situados à direita da fundamental. Olhando para a graduação das frequências, vemos que são harmônicas de ordem ímpar. Iniciando em 750 Hz (terceira harmônica), e abarcando uma grande quantidade de harmônicas de ordem ímpar.

Como esperado, as amplitudes vão diminuindo com o afastamento da fundamental.

Uma das coisas que mais ouvimos em áudio é o termo **tom puro**. Que é teoricamente associado a um tom com uma só frequência. Essa é a idéia que temos ao ligar um gerador de áudio, analógico ou digital, e imaginar que estamos realmente gerando uma única frequência. Para que isso fosse possível, seria preciso que toda a energia estivesse mesmo concentrada numa só frequência.

Ocorre que nenhum gerador no mundo é absolutamente perfeito. Consequentemente, nenhum gerador ou oscilador de áudio do mundo é capaz de gerar uma onda sinusoidal efetivamente pura. Ou seja, que contenha apenas uma única frequência.

O que significa que os “tons puros” no mundo real são impregnados em maior ou menor escala de componentes indesejáveis. Com efeito, podemos ver isso com a simples leitura de um “tom puro” de 250 Hz, analisado com técnicas FFT.

Veremos então que ao invés de uma linha vertical única, indicando o “tom puro”, nosso gráfico terá mesmo a aparência de uma banda estreita de frequências, centrada na frequência que supúnhamos fosse a única. Vejamos isso na figura H.10, que é a análise de um tom puro de

250 Hz feita pelo mesmo Smaart Pro – módulo Analysis.

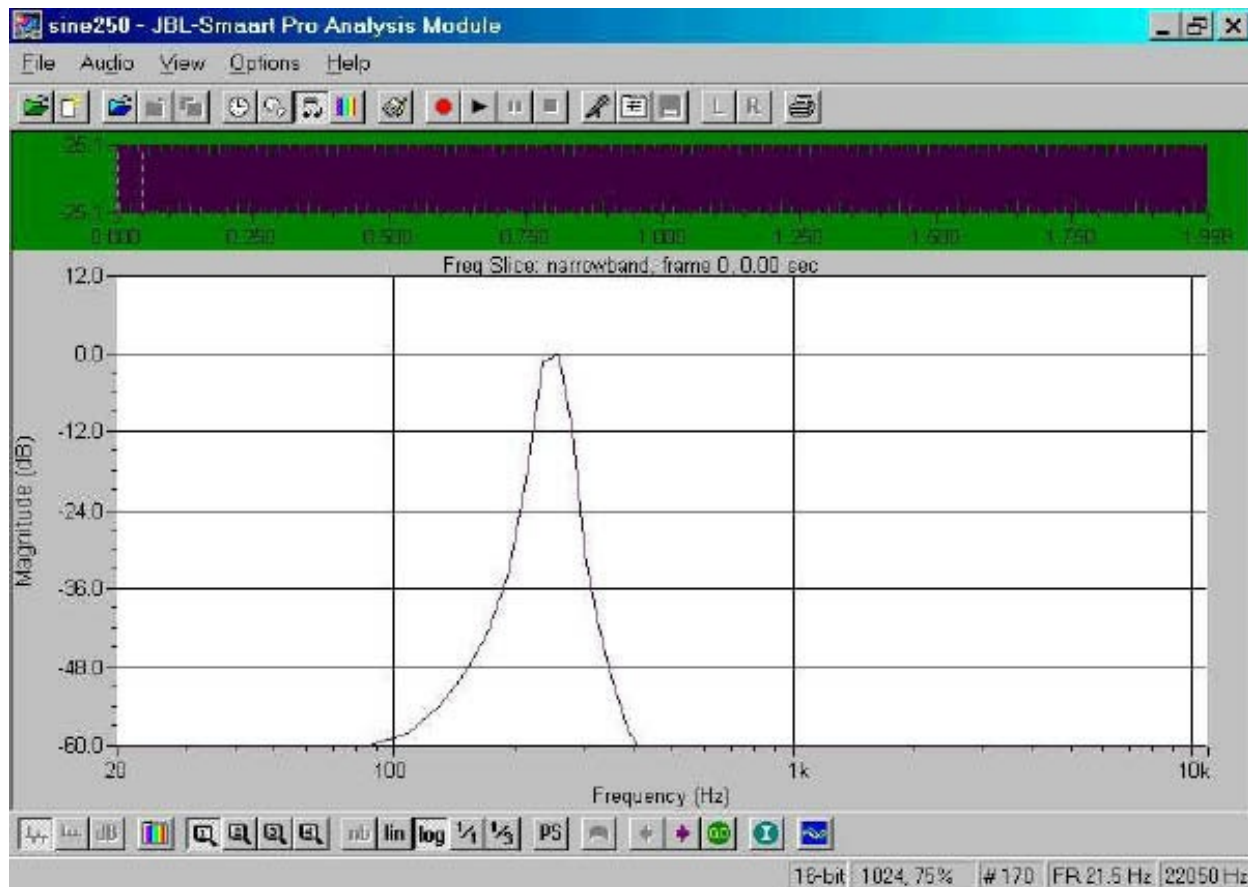


figura H.10 análise FFT de uma onda sinusoidal de 250 Hz, feita pelo Smaart Pro – módulo Analysis
acervo do engº Luiz Fernando O. Cysne As figuras H.9 e H.10 são suficientes para nos dar uma idéia clara e precisa do poder da técnica FFT como aplicada às medições de áudio.

A NOVA BÍBLIA DO SOM

engº Luiz Fernando Otero Cysne

apêndice I - bibliografia



APÊNDICE I - BIBLIOGRAFIA A maioria dos documentos relacionados a seguir não se encontra em nenhuma livraria técnica e/ou especializada no Brasil. Entretanto, muitas delas aceitam encomendas para importação/exportação. O mesmo é válido para algumas empresas especializadas apenas na importação de livros técnicos.

Todos os Padrões citados neste livro, e publicados pelo American National Standard Institute (ANSI) e pelo International Electrotechnical Commission (IEC) estão disponíveis nos Estados Unidos no seguinte endereço: American National Standards Institute 1430 Broadway New York City, NY, 10018

USA Todos os papéis e publicações editados pela Audio Engineering Society estão disponíveis nos Estados Unidos no seguinte endereço: Audio Engineering Society, Inc.

60 East 42nd Street New York City, NY, 10165-0075

USA As duas livrarias americanas seguintes possuem farto material técnico, podendo inclusive fornecer cópias via correio: Engineering Societies Library 345 East 47th Street New York city, NY, 10017

USA Linda Hall Library 5109 Cherry Street Kansas City, MO, 64110

USA Cópias de “handbooks” e padrões militares americanos podem ser obtidos de: Naval Publications and Forms Center 5801 Tabor Ave.

Philadelphia, PA, 19120

USA Praticamente sem exceções todas as obras listadas a seguir podem ser adquiridas via Internet, nos sites especializados, a exemplo de Google Play, de Amazon, além das brasileiras, como a Saraiva, a Cultura e outras.

Quando a economia é um fator, ou quando se pretende maximizar a relação custo/benefício, recomendo a pesquisa na Amazon, que oferece livros usados, geralmente em excelentes condições, frequentemente por valores muitas vezes menor que o preço do livro sem uso. Confesso que essa é minha preferência pessoal, e a que mais uso.

Há documentos citados que constam dos atuais sites dos fabricantes. Exemplo disso são os documentos publicados pela Shure e pela Neumann Berlin. Estes podem ser baixados diretamente pelos interessados sem quaisquer problemas ou formalidades. É vapt vupt.

Quem quiser sugerir a adição de material que julga apropriada, peço a gentileza de me encaminhar as informações pelo mail lcysne@hotmail.com.

A. A. Andronov and A. A. Vitt Theory of Oscillators, Dover Books on Electrical Engineering, 2011

A. A. Janszen An Electrostatic Loudspeaker Development Journal of the Audio Engineering Society, vol 3, no 2, abril 1955

A. A. Shabana Theory of Vibration An Introductions to Mechanical Engineering, volume 1, Springer, 1995

A. A. Smith Coupling of External Electromagnetic Fields to Transmission Lines 3ª edição - Wiley Interscience, 1977

A. Allan Noise Immunity Comparison of CMOS versus Popular Bipolar Logic Families Motorola Application Note AN-707, 1973

A. Badmaieff e D. Davis How to Build Speaker Enclosures Howard W. Sams & Co., Indianapolis, 1996.

A. B. Cohen Hi-Fi Loudspeakers and Enclosures Hayden Book Co., New York, 1968

Academy of Motion Picture Arts and Sciences Fundamentals of Sound Recording and Reproduction for Motion Pictures Electrical Research Products, New York **A. Corry** 70 Volt Line Tester During Installation Syn Aud Con Newsletter, vol 1, no 3, 1974

A. Corry Unauthorized Tap Detector Syn Aud Con Newsletter, vol 1, no 3, 1974

Acoustical Materials Association The Use of Architectural Materials - Theory and Practice **A. Davis** Grounding, Shielding and Isolation JAES Volume 1 No 1

A. D. Pierce Acoustics, An Introduction to its Physical Principles and Applications McGraw-Hill, New York, 1981

A. Feves Syn Aud Con Newsletter, vol 2, no 2, 1975

A. Greenwood Electrical Transients in Power Systems Wiley, New York, 1971

A. H. Benade Fundamentals of Musical Acoustics Oxford University Press, 1976

A. H. Davis Modern Acoustics Macmillan, New York, 1934

A. H. Duell e W. V. Roland Power Line Disturbances and Their Effect on Computer Design and Performance **A. H. Marshall e J. R. Hyde** The Acoustical Design of Wellington Town Hall: Design Origins, Research Review and Acoustical Objectives Proceedings, Institute of Acoustics, Edinburgh, 1982

A. H. Marshall e J. R. Hyde The Acoustical Design of Wellington Town Hall: Design Developments, Implementation and Modeling Results Proceedings, Institute of Acoustics, Edinburgh, 1982

A. J. Schneider Noise and Vibration Pocket Handbook Brüel & Kjaer Instruments, Inc., Cleveland **AKG Acoustics, Inc.**

C460B, A New Microphone Preamplifier for the Existing Condenser Microphone Module

System **Alan Piersol and Thomas Paez** Harri's Shock and Vibration Handbook, McGraw-Hill Books, 2009

Alan Williams Steel Structures Design, McGraw-Hill Books, 2011

Alec Nisbett Sound Studio, Focal Press, sixth edition, 1994

A. L. Nabelek e P. K. Robinson Monaural and Binaural Speech Perception in Reverberation for Listeners of Various Ages Journal of the Acoustical Society of America, vol 71, no 5, maio 1982

Alpha Audio (distributors of Sonex) Sonex - A brochure Richmond, Virginia **Altec Lansing Corp.**

Altec Engineering News, Altec Lansing Technical Letter no 141., Oklahoma City, OK

Altec Lansing Corp.

Altec Engineering News, Altec Lansing Technical Letter no 148., Oklahoma City, OK

Altec Lansing Corp.

Altec Engineering News, Altec Lansing Technical Letter no 167., Oklahoma City, OK

A. Matsuda *et al.*

Peripherally Reinforced Laminated Loudspeaker Diaphragm US Patent 4,198,550, abril 1980

American Insulated Wire Corp.

Wire and Cable Glossary Pawtucket, Rhode Island **American National Standard C62. 45-1987**

Guide on Surge Testing for Equipment Connected to Low Voltage AC Power Circuits **American National Standard C63. 4-1981**

Methods of Measurement of Radio Noise Emissions from Low Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 10 kHz to 1 GHz **American National Standard C84.1-1982**

American National Standard for Electric Power Systems and Equipment - Voltage Ratings (60 Hz) **American National Standard Institute** Methods for the Calculation of the Articulation Index ANSI S 3.5, New York, 1969

American Radio Relay League The Radio Amateur's Handbook 58^a edição, Newington, CT, 1981

American Steel and Wire Co.

Wire Rope Engineering Handbook, 1946

American Technical Publishers. Inc.

Rigging and Lifting Principles, in partnership with NJATC, 2010

Amir Poursaee Corrosion of Steel in Concrete Structures, Woodhead Publishing Elsevier,

2016

A. M. Wiggins Unidirectional Microphone Utilizing a Variable Distance Between the Front and Back of the Diaphragm Journal of the Acoustical Society of America, vol 26, no 5, setembro 1954

Analog Devices Inc.

SSM 2142 Balanced Line Drivers Data Sheet, Rev A **Ana M Jaramillo and Chris Steel** Architectural Acoustics, Routledge is an imprint by Taylor & Francis Group, New York, 2015

Anna Lyon Sound Systems, Stenhouse Publishers, 2003

Annete P Price Tinnitus STOP – The Complete Guide on Ringing in the Ears, Natural Tinnitus Remedies and a Holistic System for Permanent Tinnitus Relief, Living Plus Healthy Publishing, 2014

A. N. Thiële Loudspeakers in Vented Boxes: Part I & II Journal of the Audio Engineering Society, vol 19, no 5 & 6, maio e junho 1971

Antoine Chaigne and Jean Kergomard Acoustics of Musical Instruments Modern Acoustics and Signal Processing, Springer, 2016

A. P. G. Peterson e E. E. Gross Jr.

Handbook of Noise Measurement 7ª edição, General Radio Co.

A. P. Hill Combined Reverberation Time of Electrically Coupled Rooms Journal of the Acoustical Society of America, vol 4, no 1, Part I, julho 1932

ASHRAE - American Society of HVAC Engineers, Inc.

ASHRAE Handbook and Product Directory, 1977, Fundamentals chapter 7 - Sound Control Fundamentals, New York **ASHRAE - American Society of HVAC Engineers, Inc.**

ASHRAE Handbook and Product Directory, 1976, Systems chapter 35 - Sound and Vibration Control, New York **A. Sobieralski** Finding a Loudspeaker's Q by the Critical Distance Method Syn Aud Con Tech Topics, vol 1, no 4, 1974

ASTM - American Society for Testing Materials Determination of Sound Transmission Class, designation E413-70T

ASTM - American Society for Testing Materials Sound Absorption of Acoustical Materials in Reverberation Rooms, C 423-66, reapproved 1972

A. T. Burdick A Clean Audio Installation Guide Benchmark Media Systems, Inc.

A. Wood Acoustics

Dover Publications, Inc., New York, 1966

A. Wood The Physics of Music Dover, New York, 1966

B

Barry Blesser and Linda-Ruth Salter Spaces Speak, Are You Listening? Experiencing Aural Architecture, The MIT Massachusetts Institute of Technology Press Essential Knowledge Series, 2009

Baumzweiger Bauer Graphical Determination of the Random Efficiency of Microphones Journal of the Acoustical Society of America, vol 11, abril de 1940

B. Bartlett A Scientific Explanation of Phasing Journal of The Audio Engineering Society, vol 18, no 6, dezembro de 1970

B. Callaway e L. G. Ramer The Use of Perforated Facings in Designing Low-Frequency Resonant Absorbers Journal of the Acoustical Society of America, vol. 24, nº3, maio 1952.

Belden Engineering Staff Electronics Cable Handbook Howard W. Sams, Indianapolis, Ind., 1966

Bell Industrial noise Control Fundamentals and Applications, L L Faukkner editor, second edition, 1993

Ben Duncan The Live Sound Manual, Backbeat Books, 2002

Ben Sammler and Don Harvey Technical Design Solutions for Theater, Focal Press, 2002

Beth Holliday Noise Control Basics & Acoustical Product Directory 2015, noise Experts Acoustical Consultants, 2015

B. Hofer Transformers in Audio Design Sound and Video Contractor, março 1986, página 24

B. H. Smith An Investigation of the Air Chamber of Horn Type Loudspeakers Journal of the Acoustical Society of America **B. Howze** Directional Loudspeaker US Patent 4,344,50, agosto 1982

B. Howze e C. Henricksen A High Efficiency One Decade Midrange Loudspeaker AES preprint no 1848, 70th Convention, outubro 1981

B. H. Smith An Investigation of the Air Chamber of Horn Type Loudspeakers Journal of the Acoustical Society of America **Bill Evans** Live Sound Fundamentals, Stacy L Hiquet Publisher and General Manager, 2010

Bill Gibson The Ultimate Live Sound Operator's Handbook, Hal Leonard, 2007

Bill Withlock Balanced Lines in Audio Systems AES 3917(I-4) **Björn W Schuller** Intelligent Audio Analysis, Springer, 2013

B. Keiser Principles of Electromagnetic Compatibility Artec House **B. M. Oliver e J. M. Cage** Electronic Measurements and Instrumentation McGraw-Hill, New York, 1971

B. N. Locanthi Application of Electric Circuit Analogies to Loudspeaker Design Problems Journal of the Audio Engineering Society, vol 19, no 9, outubro 1971

B. Nordlud, T. Kihlman, e S. Lundblad Use of Articulation Tests in Auditorium Studies

Journal of the Acoustical Society of America, vol 44, no 1, julho 1968.

Bobby Owsinski The Mixing Engineer's Handbook, Stacy L Hiquet Publisher and General manager, 2013

Bob Hammel Connecting Arduino – Programming and Networking with the Ethernet Shield, Bob Hammel Publisher, 2014

Bob Katz Mastering Audio The Art and The Science, Focal Press, 2007

Bob McCarthy Sound Systems Design and Otimization, Focal Press, 3rd Edition, 2016

Bob Metzler Audio Measurement Handbook Audio Precision **Bosun Xie** Head-Related Transfer Function and Virtual Auditory Display, J Ross Publishing, 2013

B. P. Lathi Signals, Systems and Communications Wiley, New York, 1965

Brad Grimes Networked Audiovisual Systems, InfoComm, 2014

Brad Grimes Networked Audiovisual Systems, Infocomm, 2014

Brad Herring Sound, Lighting and Video – A Resource for Worship, Focal Press, 2009

Brandon LaBelle Acoustic Territories, The Continuum International Publishing Group Inc., 2010

B. Rayleigh The Theory of Sound, volumes I e II, 2ª edição Dover, New York, 1945

B. Reich Protection of Semiconductor Devices, Circuits and Equipment from Voltage Transients Proceedings IEEE, agosto 1967

B. R. Lidsay Acoustics - Historical and Philosophical Development Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Penn., 1973

Broderick & Bascom Rigger's Handbook – Yellow Strand Wire Rope Slings, Springer, second edition, 1997

B. Roehr An Effective Transient and Noise Barrier for Switching Power Supply Power Conversion International Conference, Munich, junho 1986

Bruce Bartlett and Jenny Bartlett Practical Recording Techniques The Step by Step Approach to Professional Audio Recording, Focal Press, 2005

Bruce Fries Digital AUdio Essentials, Marty Fries O' Reilly, 2005

Bruce Rozenblit Audio Reality, 1999

Brüel & Kjaer Technical Review, no 1, 1983

Brüel & Kjaer Technical Review, no 2, 1983

B. S. Atal, M. R. Schroeder, G. M. Sessler e J. E. West Evaluation of Acoustic Properties of Enclosures by Means of Digital Computers Journal of the Acoustical Society of America, vol 40, no 2, 1966

C. A. Harper Handbook of Wiring, Cabling and Interconnecting for Electronics McGraw Hill Book Co **C. A. Henricksen** Acoustical Transformer for Horn-Type Loudspeaker (“Tangerine” phase plug) US Patent 4,050,541, setembro, 1977

C. A. Henricksen Altec Technical Letter, no 227, Directivity Response of Single Direct-Radiator Loudspeakers in Enclosures Altec Lansing Corp., Oklahoma City, OK

C.A. Henricksen Altec Technical Letter 245, Vented Box Design Method for Altec Low-Frequency Loudspeakers Altec Lansing Corp., Oklahoma City, OK

C. A. Henricksen Engineering Justifications for Selected Portions of the Audio Engineering Society Recommended Practice on Specification of Loudspeakers Components AES preprint no 1932 (G-10) **C. A. Henricksen** Heat Transfer Mechanisms in Moving Coil Loudspeakers AESociety preprint no 1247 (K-2) **C. A. Henricksen** Phase Plug Modeling and Analysis Radial Versus Circumferential Types presented at the 59th Convention of the Audio Engineering Society AES preprint no 1328 (F-5) **C. A. Henricksen** Unearthing the Mysteries of the Leslie Recording Engineer and Producer, vol 12, no 2, outubro 1980

C. A. Henricksen Ultimate Performance of Wide-Range High-Frequency Compression Drivers AES preprint no 1126 (M-3) **C.A. Henricksen e M. Ureda** Loudspeaker Horn US Patent 4,187,926, fevereiro 1980

C.A. Henricksen e M. Ureda The Manta-Ray Horns Journal of the Audio Engineering Society, vol 26, no 9, setembro 1978

C. A. P. Rodgers Pinna Transformations and Sound Reproduction Journal of the Audio Engineering Society, vol 29, 1981

Cal Perkins Automated Test & Measurement of Common Impedance Coupling in Audio System Shield Terminations AES preprint **Cal Perkins** Microphone Pre-Amplifiers Sound And Video Contractor, fevereiro 1994

Cal Perkins Measurements Techniques for Debugging Systems and Their Interconnection Proceedings of 11th AES International Conference **Cal Perkins** To hum Or Not To Hum Sound And Video Contractor, março 1986, página 42

Canare Cable, Inc.

Evaluating Microphone Cable Performance & Specifications - A Technical Paper **Casey Kim** Audio Post Production, Stacy L Hiquet Publisher and General Manager, 2007

C. B. Pears Magnetic Recording in Science and Industry Reinhold Publishing Corp., New York, 1967

CCITT (Comitê Consultivo Internacional de Telefonia e Telegrafia) Protection Against Interference, vol 9, recommendation K17, 1984

C. C. Libby Motor Selection and Application McGraw Hill, New York **C. C. Potwin** The

Control of Sound in Theaters and Preview Rooms Journal of SMPTE, vol 32, no 2, agosto 1940

C. Davis LEDE Comes of Age The Mix, vol 6, no 7, julho 1982

C. Davis e E. Bannon Designing for a Quiet Control Room Mix, vol 5, no 8, agosto 1981

C. Davis e G. E. Meeks History and Development of the LEDE Control Room Concept presented at the 72nd Convention of the Audio Engineering Society, Anaheim, California AES preprint no 1954 (B-5), outubro 1982

C. D. Manquen A Wideband Tape and Transport Diagnostic Method Journal of the Audio Engineering Society, maio 1980

AES preprint no 1637

C. D. Manquen e J. Martinson Maintenance Procedures for Ferrite Heads Journal of the Audio Engineering Society, vol 27, no 11, novembro 1979

C. D. Mee The Physics of Magnetic Recording John Wiley & Sons, New York, 1964

C. D. Motchhenbacher e F. C. Fitchen Low Noise Electronic Design Wiley, New York, 1973

C. E. Wood Bridging and Mixing Techniques Journal of the Audio Engineering Society, vol 12, janeiro de 1964

C. Enerson Distributed Loudspeaker Measurements Syn Aud Con Tech Topics Vol 5, no 1, 1977

C. F. Dalziel A Study of the Hazards of Impulse Currents Transaction EIEE, outubro 1953

C. F. Eyring Reverberation Time in Dead Rooms Journal of the Acoustical Society of America, vol 1, 1930

Charles Atkinson e Philip Giddings Ground Systems and Their Implementation - AES 3931(I-2) **Charles E Spurgeon and Joann Zimmerman** Ethernet – The Definitive Guide for Designing and Managing Local Area Networks, O'Reilly Books, 2014

Charles M Salter Acoustics Architecture Engineering and the Environment, Inc Charles M Salter Associates, 1998

Charles Platt Encyclopedia of Electronic Components, vol 3, Maker Media, 2016

Charlie Edwards Church PA System Handbook, Published by Charlie Edwards, Caribbean Sentinel Tate Publishing, 2014

Christian U Grosse and Masayasu Ohtsu Acoustic Emission Testting, Springer, 2008

C. H. Henricksen Directivity Response of Single Direct Radiator Loudspeaker in Enclosures Altec Tech Letter # 237

CISPR

Limits and Methods of Measurement of Radio Interference Characteristics of Information

Technology Equipment, Publication 22, 1985

C. J. Glover Practical Acoustics for the Constructor Chapman and Hall, London, 1933

C. J. Kawiecki Surge Protector US Patent 3.564.473, fevereiro 1971

Clayton Paul

Introduction To Electromagnetic Compatibility

John Wiley & Sons

Cliff Truesdell Mastering Digital Audio Production, Wiley Publishing Inc., Indianapolis, Indiana, 2007

C. L. Longmire

Introduction to EMP Generation Theory

Journal of Defense Research, special issue, 84, maio 1985

C. L. S. Gilford The Acoustic Design of Talks Studio and Listening Rooms Proceedings IEEE, vol 106, no 27, maio de 1959

C. M. Harris Absorption of Sound in Air the Audio Frequency Range Journal of the Acoustical Society of America, vol 35, no 1, janeiro 1963

C. M. Harris Handbook of Noise Control McGraw-Hill, New York, 1957

C. M. Harris Handbook of Noise Control, 2ª edição McGraw-Hill, New York, 1979

C. M. Harris Noise Control in Buildings A Guide for Architects and Engineers, 1993

C. M. Hutchins The Physics of Music, Readings from Scientific American W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1978

C. Motchenbacher e F. Fitchen Low noise Electronic Design John Wiley & Sons **Colby N Leider** Digital Audio Workstation, McGraw-Hill Books, 2004

Conrad J Hemond Engineering Acoustics and Noise Control, 1983

C. P. Boner e C. R. Boner A Procedure for Controlling Room Ring Modes and Feedback Modes in Sound Systems with Narrow band Filters Journal of the Audio Engineering Society, vol 13, outubro de 1965

C. P. Boner e C. R. Boner Minimizing Feedback in Sound Systems and Room Ring Modes with Passive Networks Journal of the Acoustical Society of America, vol 37, janeiro de 1965

C. P. Boner Behavior of Sound Reinforcement in Large Halls Journal of the Audio Engineering Society (Project Notes), vol 19, fevereiro de 1971

C. P. Repka A Guide to Coincident Mikes Audio Magazine, novembro 1978

C. R. Allen A Truly Effective Speech Processor Syn Aud Con Tech Topics, vol 13, no 7, 1986

C. R. Cable Acoustics and the Active Enclosure Journal of the Audio Engineering Society, vol 20, dezembro 1972

C. R. Cable Loudspeaker Q - What Does it Mean?

presented at the Convention of the Audio Engineering Society, maio de 1974

AES preprint no 956 (J-7) **Cremer e H. Muller** Principles and Application of Room Acoustics, volumes 1 e 2

Applied Science Publishers, London, 1982

C. R. Hanna e J. Slepian The Functions and Design of Horns for Loudspeakers reprinted in the Journal of the Audio Engineering Society, vol 25, no 9, setembro 1977

C. R. Lennox Experimental Results of Testing Resistor Under Pulse Conditions Sandia Laboratories SC-TM-67-559, novembro 1967

C. R. Paul Modeling and Prediction of Ground Shift on Printed Circuit Boards IERE Symposium on EMC, York, England, outubro 1986

C. R. Paul Prediction of Crosstalk in Ribbon Cables IEEE Transactions on EMC, agosto 1978

C. R. Paul Prediction of Crosstalk Involving Twisted Pair of Wires - part I IEEE Transactions on EMC, maio 1979

C. R. Paul Prediction of Crosstalk Involving Twisted Pair of Wires - part II IEEE Transactions on EMC, maio 1979

C. S. Vasaka Problems in Shielding Electronic Equipment Proceedings of the Conference on Radio Interference Reduction Armour Research Foundation, dezembro 1954

Cysne Sound Engineering Ltd.

Divisão de Publicações Técnicas Boletim Técnico volume 2, número 2

Conectores de Áudio **Cysne Sound Engineering Ltd.**

Divisão de Publicações Técnicas Boletim Técnico volume 3, número 1

Instrumental Eletroacústico **Cysne Sound Engineering Ltd.**

Divisão de Publicações Técnicas Boletim Técnico volume 4, número 1

Legendas e Símbolos Gerais **Cysne Sound Engineering Ltd.**

Divisão de Publicações Técnicas Boletim Técnico volume 7, número 2

Escolha de Fios e de Cabos **Cysne Sound Engineering Ltd.**

Divisão de Publicações Técnicas Boletim Técnico volume 8, número 1

Interferência Eletromagnética (IEM) e Controle **Cysne Sound Engineering Ltd.**

Divisão de Publicações Técnicas Prática Recomendada - Série Instalação DPR-001/86, Técnicas de Instalação **Cysne Sound Engineering Ltd.**

Divisão de Publicações Técnicas Prática Recomendada - Série Instalação DPR-007/86, Preparação e Terminação de Cabos **Cysne Sound Engineering Ltd.**

Divisão de Publicações Técnicas Prática Recomendada - Série Instalação DPR-009/86, Técnicas de Interconexão **Cysne Sound Engineering Ltd.**

Divisão de Publicações Técnicas Prática Recomendada - Série Instalação DPR-016/86, Instrumental de Instalação **Cysne Sound Engineering Ltd.**

Divisão de Publicações Técnicas Prática Recomendada - Série Infraestrutura DPR-IE-002/86, Eletrodutos, Eletrocalhas e Caixas **Cysne Sound Engineering Ltd.**

Divisão de Publicações Técnicas Prática Recomendada - Série Infraestrutura DPR-IE-003/86, Sistemas de Alimentação **Cysne Sound Engineering Ltd.**

Divisão de Publicações Técnicas Prática Recomendada - Série Infraestrutura DPR-IE-004/86, Aterramento Técnico **Cysne Sound Engineering Ltd.**

Divisão de Publicações Técnicas Prática Recomendada - Série Infraestrutura DPR-IE-005/86, Terra Técnico Verdadeiro **C. Zwikker e C. W. Kosten** Sound Absorbing Materials Elsevier Publishing Co., Inc., New York, 1949

D

D. A. Barlow Diaphragm for Electro Acoustic Transducer, (foam-aluminum sandwich diaphragm) US Patent 3,111,187, novembro 1963

D. A. Barlow The Development of a Sandwich-Construction Loudspeaker System Journal of the Audio Engineering Society, vol 18, no 3, junho 1970

D. A. Barlow, G. D. Galletly, e J. Mistry The Resonances of Loudspeaker Diaphragms AES preprint no 1590 (D4) **D. A. Miller e J. E. Bridges** Review of Circuit Approach to Calculate Shielding Effectiveness IEEE Transactions on EMC, vol EMC 10, março 1968

D. A. Paoletti, J. R. Hyde e H. A. Marshall The Acoustical Design of the Orange County Performing Arts Center Theater Proceedings, 11º International Congress on Acoustics, Paris, 1983

Dan Talbot Fiber-Optic Transmission in Professional Audio Journal of the Audio Engineering Society, vol 42, no 5, maio 1994

Daryl Gerke e Bill Kimmer The Designer's Guide to Electromagnetic Interference EDN Magazine volume 34 No 2

David Austerberry The Technology of Video and Audio Streaming, Focal Press, 2nd edition, 2004

David B Weems Great Sound Stereo Speaker Manual, TAB Books, 2000

David Barnett and Davis Groth Cabling – The Complete Guide to Network Wiring, 32rd edition, 2004

David Golf Fiber Optic Reference Guide, Focal Press, 2002

David Havelock and Sonoko Kuwano Handbook of Signal Processing in Acoustics (2 volume set), Springer, 2009

David Howard and David M Howard Acoustics and Psychoacoustics, Focal Press, 2009

David J Ewins and Singiresu S Rao Encyclopedia of Vibration Engineering (3 volume set), Academic Press, 2001

David Lewis Yewdall The Practical Art of Motion Picture Sound, Focal Press, 2007

David Lubman Acoustics of Worship Spaces, 1985

David M. Howard and Jamie Angus Acoustics and Psychoacoustics, Focal Press, 2016

David M. Koenig and Delwin D. Fandrick Spectral Analysis of Musical Sounds with Emphasis on the Piano, Oxford University Press, 2015

David Miles Huber and Robert E Runstein Modern Recording Techniques, AUdio Engineering Society, 2013

David Miles-Huber and Philip Williams Professional Microphone Techniques, Mix Pro Audio, 1999

David Muir Wood Civil Engineering A Very Short Introduction, Oxford University Press, 2012

David Nahmani Apple Pro Training Series: Logic Pro 8 and Logic Express 8, 2007

David Roach and Scott Janus High Definition Audio for the Digital Home **David T. Blackstock** Fundamentals of Physical Acoustics, Wiley Interscience publication, 2000

David T. Bradley and Erica E. Ryherd Worship Space Acoustics 3 Decades of Design, 2016

David Trubit Concert Sound, Mix, 1993

D. B. Keele, Jr.

Vented Box Design Using a Pocket Calculator, fevereiro 1976

D. B. Keele, Jr.

Horn Loudspeaker US Patent 4,071,112, janeiro 1978

D. B. Keele, Jr.

Low-Frequency Horn Design Using Thiele/Small Driver Parameters presented at the 57th Convention of the Audio Engineering Society, maio de 1977

AES preprint no 1250 (K-7) **D. B. Keele, Jr.**

Low-Frequency Loudspeaker Assessment by Nearfield Sound-Pressure Measurements Journal of the Audio Engineering Society, vol 22, no 3, abril 1974

D. B. Keele, Jr.

Optimum Horn Mouth Size AES preprint no 933 (B7) **D. B. Keele, Jr.**

What's So Sacred about Exponential Horns?

AES preprint no 1038 (F-3) **D. Buskind** Interface Induced Audio Anomalies REP, outubro de 1980

D. C. Anderson ESD Control to Prevent the Spark That Kills Evaluation Engineering, julho 1984

D. Dawson The Problems and Pitfalls of International Touring Mix Magazine, vol 19, no 2, 1995

D. Dugan US Patent 3,814,856

D. Dugan US Patent 3,992,584

D. Dutsch The Psychology of Music Academic Press, New York, 1982

Delbert L Hall Rigging Math made Simple, Spring Knoll Press, third edition, 2014

Dennis Bohn Rane Note 102

Rane Corporation **Des Lyver** Basics of Video Sound, Routledge London and New York, 2nd edition, 1999

D. Fitzroy Reverberation Formulas Which Seems to be More Accurate with Non-uniform Distribution of Absorption Journal of the Acoustical Society of America, vol 31, julho de 1959

D. Gabor Theory of Communications Proceedings IEEE, vol 93, 1946

D. G. Kirby Twisted Pair Cables for AES/EBU Digital Audio Signals Journal of the Audio Engineering Society, vol 43, no 3, março 1995

D. Halliday e R. Resnick Physics Part II John Wiley & Sons **Dion Scoppettuolo** Apple Pro Training Series: iMovie, 2014

D. Jensen High Frequency Phase Specs Useful or Misleading AES preprint no 2398

D. Jensen e G. Sokolich Spectral Contamination Measurements AES preprint no 2725

D. J. Plach Design Factors in Horn-Type Speakers Journal of the Audio Engineering Society, vol 1, no 3, outubro 1953

D. Lancaster Active-Filter Cookbook Howard W. Sams & Co., Inc., Indianapolis **D. L. Klepper** Sound Reinforcement, An Anthology Audio Engineering Society, New York **D. Nalle** Elimination of Noise in Low Level Circuits ISA Journal, vol 12, agosto 1965

D. N. Hierman Broadcast Electromagnetic Environment Near Telephone Equipment - IEEE, National Telecommunications Conference, 1976

D. N. Keats Measurements in Mechanical Dynamics McGraw-Hill, New York, 1967

Donald Davis A Real Time Regenerative Response Method of Equalizing a Sound System papel técnico apresentado na Audio Engineering Society, maio de 1973

Donald Davis Acoustical Tests and Measurements Howard W. Sams, Indianapolis, Ind., 1965

Donald Davis Analyzing Loudspeaker Locations for Sound Reinforcement Systems Journal of the Audio Engineering Society, vol 17, dezembro de 1969

Donald Davis Calculating Percentages and Ratios Syn-Aud-Con Tech Topics, Vol 6, No 3, 1979

Donald Davis Engineering an LEDE Control Room for a Broadcasting Facility presented at the 67th Convention of the Audio Engineering Society, New York, outubro-novembro 1980

AES preprint no 1688 (I-1) **Donald Davis** Equivalent Acoustic Distance Journal of the Audio Engineering Society, vol 21, outubro de 1973

Donald Davis Experiments in the Enhancement of the Artist's Ability to Control His Interface With The Acoustic Environment in Large Halls AES preprint no 1033 (D-2) **Donald Davis** Facts and Fallacies on Detailed Sound System Equalization Audio Magazine, 1969

Donald Davis Fundamentals of Audio Transmission Syn Aud Con Tech Topics, Vol 12, No 6, 1985

Donald Davis How Much Amplifier Power Audio Magazine, junho de 1971

Donald Davis Interpreting Field Measurements of Directivity Factor and Their Relation to the Proposed Standard Method of Measuring the Directivity Factor for Loudspeakers Used in Commercial Sound Work AES preprint no 1031 (K-3), Part I, maio de 1975

Donald Davis On Standardizing the Measurements of Q

Journal of the Audio Engineering Society, vol 21, novembro de 1973

Donald Davis Putting It All Together In A Control Room Syn Aud Con Tech Topics Vol 5, abril de 1978

Donald Davis Real Time Audio Spectrometry Recording Engineer and Producer, 1971

Donald Davis Sound System Equalization Progressive Architecture, setembro de 1969

Donald Davis The Design of Sound Systems Syn Aud Con Tech Topics, vol 12, no 3, 1984

Donald Davis The Role of the Initial Time-Delay Gap in the Acoustic Design of Control Rooms for Recording and Reinforcing Systems presented at the 64th Convention of the Audio Engineering Society, novembro 1979

AES preprint no 1547 (F-3) **Donald Davis** The Twenty TDS Workshop Syn Aud Con Tech Topics, vol 6, no 13, 1979

Donald Davis e Carol Davis Basic Loudspeaker Measurements Syn Aud Con Tech Topics Vol 13, no 9, 1986

Donald Davis e Carol Davis Electrical Gain and Loss from Voltage and Impedance Measurements Syn Aud Con Tech Topics Vol 7, No 3, 1979

Donald Davis e Carol Davis Grounding and Shielding Workshop Syn Aud Con Tech Topics Volume 12 No 10

Donald Davis e Carol Davis LEDE - Live End Dead End Control Room Acoustics Recording Engineer and Producer, fevereiro de 1979

Donald Davis e Carol Davis LEDE and The Diffused Rear Wall Syn Aud Con Tech Topics Vol 11, No 7, 1984

Donald Davis e Carol Davis PZM - Pressure Zone Microphone Recording Engineer and Producer, fevereiro de 1979

Donald Davis e Carol Davis Sound System Engineering 2ª edição - Howard W. Sams & Co., Inc., Indianapolis, 1975

Donald Davis e Carol Davis TDS - Time Delay Spectrometry Recording Engineer and Producer, fevereiro de 1979

Donald Davis e Carol Davis The LEDE Concept for the Control of Acoustic and

Psychoacoustic Parameters in Recording Control Room Journal of the Audio Engineering Society, vol 28, no 9, setembro de 1980

Donald Davis e Carol Davis What Reverberation Is and What It Is Not Syn Aud Con Tech Topics Vol 12, no 13, 1985

Donald Davis e Carol Davis When Not To Make Reverberation Measurements Syn Aud Con Newsletter, vol 8, no 1, outono de 1980

Don Ihde Acoustic Techniques, Lexington Books, 2015

Donatello Annaratone Engineering Heat Transfer, Springer, 2009

Douglas D Reynolds Engineering Principles of Mechanical Vibration, 2009

Douglas Self and Ben Duncan Audio Engineering Know it All, Newnes, 2008

Douglas Self Audio Engineering Explained, Focal Press, 2009

D. P. Costa RFI Suppression, part II, vol 11, dezembro 1967

D. Queen Monitoring Room Acoustics dB The Sound Engineering Magazine, vol 7, no 5, maio 1973

D. R. Bush Radiated Emissions of Printed Circuit Board Clock Circuits 6th Symposium on EMC, Zurich, Switzerland, março 1985

Drew O McDaniel and Rick Shriver Fundamentals of Audio Production, 2007

D. R. Jones Designing a Stereo Room for Spatial Hearing Research on Stereo Imagery Using the TEF

papel técnico apresentado na Acoustical Society of America, Nashville, Tenn., novembro de 1985

D. R. Jones, W. L. Martens e G. S. Kendall Optimizing Control Room for Stereo Imagery papel técnico apresentado na Acoustical Society of America, Nashville, Tenn., novembro de 1985

D. R. J. White Electromagnetic Interference and Compatibility - VOL 1, Electrical Noise and EMI Specification Don White Consultants, Germantown, 1971

D. R. J. White Electromagnetic Interference and Compatibility - VOL 2, EMI Test Methods and Procedures Don White Consultants, Germantown, 1974

Duncan Fry Live Sound Mixing, fourth edition, 2005

Duncan Templeton and David Saunders Acoustic Design Architecture Press Library of Design & Detailing, Architectural Press Library of Design and Detailing, 2014

D. W. Batteau The Role of the Pinna in Human Localization Proceedings Royal Society, B168-1011

D. W. Bodle e J. B. Hayes Lightning Protection for Transistorized Equipment Transactions AIEE, 78:232-237, julho 1959

D. W. Green e C. W. Sherry Sound Transmission Loss of Gypsum Wallboard Partitions, Report no 3

Journal of the Acoustical Society of America, vol 71, no 4, abril de 1982

D. W. Robinson e R. S. Dadson A Re-Determination of the Equal Loudness Relations for Pure Tones, British Journal of Applied Physics, vol 7, 1956 (adotado pelo ISO - International Standards Organization como Recomendação, R-226) E

E. A. G. Shaw Ear canal Pressure Generated by a Free sound Field Journal of the Acoustical Society of America, vol 39, no 3, 1966

Earl G Williams Fourier Acoustics Sound Radiation and Nearfield Acoustical Holography, Academic Press, 1999

Eberhard Hänsler and Gerhard Schmidt Topics in Acoustic Echo and Noise Control Selected Methods for The Cancellation of Acoustic Echoes, Springer, 2006

Eckard Mommertz Acoustics and Sound Insulation Detail Practice, Birkhouser Publishers for Architecture, 2009

E. C. Richardson e E. Meyer Technical Aspects of Sound: Recent Developments in Acoustics, vol III Elsevier, New York, 1962

E. C. Richardson Technical Aspects of Sound: Sonic Range and Airborne Sound, vol I Elsevier, New York, 1953

E. C. Wente Sound Translating Device (phase plug) US Patent 2,037,187, abril 1936

E. C. Wente e A. L. Thuras A High Efficiency Receiver for a Horn Type Loudspeaker of Large Power Capacity reprinted from the BSTJ, janeiro 1928, by the Journal of the Audio Engineering Society, vol 26

E. D. Butler e T. D. Gant Electrical Injuries, with Special Reference to the Upper Extremities American Journal of Surgery, julho 1977

Eddy Brixen Audio Metering Measurements, Standards and Practice, Audio Engineering Society, 2016

Edward Dmytryk Cinema Concept and Practice, 1988

E. F. Vance Coupling to Shielded Cables Wiley Interscience, 1978

E. Geddis Acoustic Lens, Their Design and Application AES preprint no 1401 (G-5) **EIA Standard RS-232-C**

Interface Between Data Terminal Equipment and Data Communication Equipment Employing Serial Binary Data Interchange EIA, Washington DC, 1981

E. J. Czerwinski Adjustable Dual Spider for a Loudspeaker US Patent 4,239,943, dezembro 1980

E. J. Czerwinski e M. D. Buck A Compact, High Performance Cinema Loudspeaker for

Dialogue, Music, and Effects AES preprint no 1853 (D-7) **E. J. Veale** The Environment Design of a Studio Control Room presented at the 49th Convention of the Audio Engineering Society in Rotterdam AES preprint no A-2 (R), janeiro 1973

E J Richards and D J Mead Noise and Acoustic Fatigue in Aeronautics, John Wiley and Sons Ltd., 1968

E. K. Howell How Switches Produce Electrical Noise IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol EMC-21, no 3, agosto 1979

Electronic Buyer's Handbook Capacitors, vol 1

CPM Publications, Inc., novembro 1978

Electronic Buyer's Handbook and Directory, vol. 2, dezembro 1978

Resistive Components **Electronic Buyer's Handbook, 1978**

Relays, Solenoids, Timers, and Motors Copyright 1978 by CMP Publications **Electronic Buyer's Handbook, vol 6, setembro 1978**

Semiconductors, Discrete and IC's Copyright 1978 by CMP Publications **Electronic Capabilities** Guide to Coaxial Cable, verão 1968

Electronic Design 3, F. S. Griffin, vice-president Add Foldback Protection to Your Supply and Stop Pass Transistor Failures Ordnance Research Inc., fevereiro 1978

Electronic Design, maio 1981

Electrolytic Capacitors: Past, Present and Future **Electronic Design, dezembro 1978**

Relay Loads **Electronic Design, maio 1981**

What Is an Electrolytic Capacitor **Electronic Design, setembro 1981**

What's Thyristor **Electronic Industries Association** Racks, Panels and Associated Equipment RS-310C-1978

E. Lethert Calculating "N" for Mixed Sources Syn Aud Con Tech Topics, vol 5, no 5, 1978

E. Lethert Impedance Measuring Device Syn-Aud-Con Newsletter, vol 1, no 2, 1973

Elisabeth Weis and John Belton Film Sound Theory and Practice, Columbia University Press, 1994

E. M. Long A Time Aligned Technique for Loudspeaker System Design papel técnico apresentado na 54ª Convenção da Audio Engineering Society, Los Angeles, maio de 1976

AES preprint no 1131 (M-8) **E. M. Long** Crossover Network Design Audio Magazine, vol 56, no 3, março 1972

E. M. Long Design Parameters of a Dual Woofer Loudspeaker Systems Journal of the Audio Engineering Society, vol 17, no 5, outubro 1969

E. M. Villchur Problems of Bass Reproduction Journal of the Audio Engineering Society,

vol 5, no 3, julho 1957

Enciclopédia Delta Larousse vários tomos Editora Delta S.A., Rio de Janeiro, Brasil, A. Koogan, editor responsável **Encyclopaedia Britannica** vários tomos Inicialmente publicada pela Society of Gentlemen in Scotland, William Benton, Publisher, London **E. O’Keefe** Physical and Acoustical Properties of Urethane Foams Sound and Vibration, vol 12, no 7, julho 1978

E. P. Kreider, C. D. Weidman e R. C. Noggle The Electric Field Produced by Lightning Stepped Leaders Journal of Geophysical Research, 82, fevereiro 1977

E. R. Madsen Extraction of Ambiance Information from Ordinary Recordings Journal of the Audio Engineering Society, vol 18, outubro de 1970

Erwin Meyer and Ernst George Neumann Physical and Applied Acoustics – An Introduction, Academic Press Inc., 1972

E. T. Patronis e C. Donders Central Cluster Design Technique for Large Multipurpose Auditoria Journal of the Audio Engineering Society, vol 30, junho 1982

E. Trompeter Cleaning up Signals With Coax Electronic Products Magazine, julho 1973

E. Z. Wicker, G. Flottorp e S. S. Stevens Critical Bandwidth in Loudness Summation Journal of the Acoustical Society of America, vol 29, no 5, 1957

F

F. A. Everest Critical Listening Skills for Audio Professionals, 2006

F. A. Everest Glass in Audio dB the Sound Engineering Magazine, part I, vol 18, no 3, abril de 1984

F. A. Everest Glass in Audio dB the Sound Engineering Magazine, part II, vol 18, no 4, maio de 1984

F. A. Everest Handbook of Multichannel Recording Tab Books Inc., Blue Ridge Summit, 1975

F. A. Everest How to Build a Small Budget Recording from Scratch Tab Books Inc., Blue Ridge Summit **F. A. Everest** Master Handbook of Acoustics Tab Books, Blue Ridge Summit, 1981

F. A. Everest Successful Sound System Operation, Tab books, 1985

F. A. Everest The Complete handbook of Public Address Sound System, 1978

F. A. Everest The New Stereo Soundbook, 1992

F. A. Fisher e F. D. Martzloff Transient Control Levels IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, janeiro 1976

Fantasy Records Studio D

Recording Engineer and Producer, vol 11, no 2, abril de 1980

F. A. Watson Our Acoustic Environment Wiley Interscience, New York, 1975

F. C. DiVincenti, J. A. Moncrief e B. A. Pruitt Electrical Injuries: A Review of 65 Cases
Journal of Trauma, no 9, 1969

F. D. Martzloff Transient Control Levels Telephone Engineer and Management, 81,
setembro 1977

F. D. Martzloff Varistor versus Environment - Winning the Rematch IEEE Transactions on
Power Systems, 1, abril 1986

F. Dunn and Thomas Rossing Springer Handbook of Acoustics, Thomas D Rossing editor,
Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2015

Federal Telephone and Radio Corporation Reference Data for Radio Engineers, 2^a
edição - J. J. Little & Ives **F. E. Terman** Radio Engineers Handbook McGraw-Hill, New York,
1943

F. E. Toole Loudness - Applications and Implications to Audio, part I dB The Sound
Engineering Magazine, vol 7, no 5, maio de 1973

F. E. Toole Loudness - Applications and Implications to Audio, part II dB The Sound
Engineering Magazine, vol 7, no 6, junho de 1973

F. H. Richardson Motion Picture Handbook Chalmers Publishing, New York, 1916

Finn Jacobsen and Peter Moller Juhl Fundamentals of General Linear Acoustics, John
Wiley & Sons Ltd., 2013

Finn Jorgensen The Complete Handbook of Magnetic Recording, Tab Books, 1995

F. Jay IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms, 2^a edição The
Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1977

F. Jorgensen The Complete Handbook of Magnetic Recording Tab Books, Blue Ridge
Summit, 1980

F. J. van Leeuwen The Damping of Eigentones in Small Rooms by Helmholtz Resonators
European Broadcast Union Review, vol 62, 1960

F. Langford-Smith Radiotron Designers Handbook RCA, 1953

Floyd Toole Sound Reproduction The Acoustic and Psychoacoustics of Loudspeaker and
Rooms, Audio Engineering Society, 2008

Floyd Toole Sound Reproduction, AES, 2008

F. Massa Acoustic Design Charts The Blakiston Company, Philadelphia, 1942

F. M. Murray An Application of Bob Smith's Phasing Plug AES preprint no 1384 (K-4) **F.
M. Murray e H. Durbin** Three Dimensional Diaphragm Suspensions for Compression Drivers
Journal of the Audio Engineering Society, vol 28, no 10, outubro 1980

F. Mayer Absorptive Low-Pass Cables - State of the Art and an Outlook to the Future IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 28, fevereiro 1986

F. M. Weiner e D. A. Ross Pressure Distribution in the Auditory Canal in a Progressive Sound Field Journal of the Acoustical Society of America, vol 18, no 2, 1946

F. M. Weiner On The Diffraction of a Progressive Wave by the Human Head Journal of the Acoustical Society of America, vol 19, no 1, 1947

F. P. Mechel and Manohar Munjal Formulas of Acoustics, Springer, 2nd edition, 2008

Francis Rumsey MIDI Systems and Control, Focal Press, 1994

Frank Fahy Sound Intensity, second edition, First published by The Spon Press, 1995

Frank J. Fahy & Paolo Gardonio Sound and Structural Vibration, Academic Press, 2nd edition, 2007

Frank J. Fahy Foundations of Engineering Acoustics, Elsevier, reprint 2005

Frederick N. Martin and John G. Clark Introduction to Audiology, 12th edition, 2014

Frederick Terman Radio Engineering McGraw Hill Co **Fredric Raichlen** Waves, The MIT Massachusetts Institute of Technology Press Essential Knowledge Series, 2012

F. R. Watson Acoustics of Buildings: Including Acoustics of Auditoriums and Soundproofing of Rooms, 3ª edição Wiley, New York, 1941

F. Santon Numerical Prediction of Echograms and of the Intelligibility of Speech in Rooms Journal of the Acoustical Society of America, vol 59, no 6, junho 1976

F. S. Edwards, A. S. Husbands e F. R. Perry The Development and Design of High Voltage Impulse Generators Proceedings IEE, 104C, abril 1957

Furnas Centrais Elétricas S. A.

Sistemas de Transmissão em CC (Itaipu) **F. Vance** Shielding and Grounding Topology for Interference Control EMP Interactions Note 306 - SRI International, Menlo Park, California, abril 1977

F. V. Hunt Electroacoustics: The Analysis of Transduction and its Historical Background Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1954

F. V. Hunt Origins in Acoustics: The Science of Sound from Antiquity to the Age of Newton Yale University, New Haven, Conn., 1978

F. W. Parrish Direct Current Braking for AC Induction Motors International Rectifier Corporation **F. W. Gutzwiller** Protective Control Circuits US Patent 3.213.349, outubro 1965

F. Winkel Music, Sound and Sensation: A modern Exposition Dover, New York, 1967

G

G. Alexandrovich New Approach to Tone Arm Design AES Preprint no 149, outubro 1960

G. Alexandrovich Phono Cartridges and Communications Broadcast Engineering, 1982

Garret Keizer The Unwanted Sound of Everything We Want – A Book About Noise, Public Affairs, New York, 2012

G. A. Sowler Soft Magnetic Materials for Audio Transformers AES preprint no 2467 (J-1)

G. Chory Measuring a Power Amplifier's True Output Impedance Syn-Aud-Con Newsletter, vol 1, no 3, 1974

G. C. Izenour Theater Design McGraw-Hill, New York, 1977

Gebre Waddell Complete Audio Mastering Practical Techniques, McGraw-Hill Books, 2013

General Radio Co.

Useful Formulas, Tables, Curves for Random Noise Tech Letter, junho de 1963

George A. Costello Theory of Wire Rope – Mechanical Engineering Series, Frederick F Ling Editor, Springer, 1997

George S. K. Wong AIP Handbook of Condenser Microphones Theory, Calibration and Measurements, Robert T Beyer, Series Editor in Chief, Physics Department, Brown University, 1994

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Bernhard Müller, AES 1990, “A new Type of Boundary-Layer Microphone”, English, 21 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Operating Instructions Phantom Power Supplies BS 48 i, BS 48 i-2, N 48 i-2
Engl./Germ.

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider, AES 2000: “On Developing a Vocalist Microphone”, English, 12 pages

Georg Neumann GmbH Berlin GN-Info 10394, 10/2000, Engl./Germ., “PA 100 Pistonphone Adapter”

Georg Neumann GmbH Berlin Stephan Peus, 1985: “Natural Listening with a Dummy Head”, English, 6 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider, AES 2001, “Omnis and Spheres - Revisited”, English, 5 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Stephan Peus, AES 1988, “The MS Recording Technique for the Stereophonic TV and Movie Sound”, English, 17 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Stephan Peus, AES 2001, “The Digitally Interfaced Microphone”, English, 11 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Brochure Microphone Sets, English*

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Stephan Peus and Otmar Kern, AES AES 1993: “Ein transformatorloses Studio-Kondensatormikrophon”, German, 13 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Condenser microphone and accessories

Georg Neumann GmbH Berlin Bertram 1965: “Über den Umgang mit Stereo-Koinzidenz-Mikrophonen”, German, 12 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Some Remarks on Microphone Maintenance, German/English

Georg Neumann GmbH Berlin GN-Info 90011, 09/1990, Engl./Germ., “Textilumspinnene Mikrophonkabel IC 31 mt und KT 51 mt”

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Stephan Peus, AES 1993: “On Development of a new Vocalist Microphone”, English, 10 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider, AES 2006: “The Effect of the Singers Head on vocalist microphones”, English, 4 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Brochure “The Dummy Head - Theory and Practice”*,English, 28 Pages

Georg Neumann GmbH Berlin Radio Mentor, 1973: “Wiedergabe von Kunstkopfsignalen über Lautsprecher”, German, 2 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider, AES 1998: “Transients in Microphones: Pop and Impulse”, English, 9 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider, AES 2005: “Electromagnetic Interference, Microphones and Cables”, English, 11 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Stephan Peus, AES 2004: “Modern Acoustic and Electronic Design of Studio Condenser Microphones”, English, 8 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Gerhart Boré, 1956: “Principles and Problems of Stereophonic Transmission”, English, 6 pages

Georg Neumann GmbH Berlin General information about the measuring microphones MM 2, MM 3 and MM5

Georg Neumann GmbH Berlin Gerhart Boré, 1978: “The Measurement of Microphone Sensitivity”, English, 7 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Brochure “A Selection of Accessories for Use on

Location”, 02/1990, English

Georg Neumann GmbH Berlin Info on the AES 42 standard, German/English

Georg Neumann GmbH Berlin Book “Microphones”, Bore/Peus, English, 78 pages*

Georg Neumann GmbH Berlin Book “Mikrophone”, Bore/Peus, German, 78 Seiten*

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Ernst Weiß, AES 1993: “Audio Technology in Berlin to 1943: Microphones”, English, 10 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Ernst Weiß, AES 1993: “Audio-Technologie in Berlin vor 1943: Mikrophone”, German, 10 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider, AES 1998: “Pop Measurements, Low-Frequency Response + Microphone Construction”, English, 15 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Stephan Peus, AES 1997: “Measurements on Studio Microphones”, English, 21 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider, TMT 1998: “Eigenrauschen und Dynamikumfang von Mikrofonen und Aufnahmekette”, German, 19 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Stephan Peus, AES 1985: “Causes of Pickup from strong LF and HF

Sources in the Recording Studio”, English, 18 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Stephan Peus, AES 1985: “Ursachen für Einstreuungen durch starke NF-und HF-Felder im Aufnahmestudio”, German, 18 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Stephan Peus 1975: “Impuls-Verhalten von Mikrofonen”, German, 7 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Radio Mentor, 1976: “Impuls-Verhalten von Mikrofonen”, German, 4 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Stephan Peus 1977: “Microphones and Transients”, English, 4 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Gerhart Boré, 1978: “Das Übertragungsmaß der Mikrophone bei tiefen Frequenzen und seine Messung”, German, 4 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Gerhart Boré, 1978: “Transistorbestückte Kondensatormikrophone in Niederfrequenzschaltung”, German, 4 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Elektronische Rundschau 1965: “Korrelation von Stereo-Signalen und ihre Anzeige”, German, 4 Pages

Georg Neumann GmbH Berlin GN-Info 83218, 08/1983, German, “Einige Hinweise bei

HF-Störungen im Studio”

Georg Neumann GmbH Berlin GN-Info 83219, 08/1983, English, “Some informations on RF-interferences in the studio”

Georg Neumann GmbH Berlin GN-Info 84221, 09/1984, German, “Betrieb von fet 80 i-Mikrofonen an unsymmetrischen Eingängen”

Georg Neumann GmbH Berlin GN-Info 84222, 11/1984, English, “Operation of Neumann fet 80 i microphones with unbalanced inputs”

Georg Neumann GmbH Berlin GN-Info 88038, 02/1988, English, “DCH 148 DC/DC Converter”

Georg Neumann GmbH Berlin GN-Info 88041, 04/1988, German, “DCH 148 Gleichspannungs-Wandler”

Georg Neumann GmbH Berlin GN-Info 88042, 04/1988, German, “Zerlegen und Reinigen von Neumann Kondensatormikrofonen”

Georg Neumann GmbH Berlin GN-Info 88043, 04/1988, English, “Disassembling and Cleaning of Neumann Condenser Microphones”

Georg Neumann GmbH Berlin GN-Info 90013, 11/1990, Engl./Germ., “Conversion MS-Stereo signal to LR-Stereo signal”

Georg Neumann GmbH Berlin Polung der Neumann-Kondensatormikrophone, German, 01/1966

Georg Neumann GmbH Berlin Prüfvorschrift V 442, V 442 A auf Spannungsfestigkeit, German, 11/1982

Georg Neumann GmbH Berlin Netzgeräte für historische Röhrenmikrophone, German

Georg Neumann GmbH Berlin Brochure Microphone Sets, German*

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider, AES 2007: “Digital Microphones For High Resolution Audio”, English, 6 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Dr. Stephan Leschka, 34. Jahrestagung für Akustik, <http://2008.daga-tagung.de>: “Digitale Mikrophontechnik”, German, 3 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Neumann Microphone Application Matrix, June 2010

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider, AES 2010: “Microphone Choice: Large or Small, Single or Double?”, English, 8 pages Lecture by Stephan Peus, AES 2011, “The ‘Digital Solution’, the answer to a lot of challenges within new production routines at today’s broadcasting stations”, English, 6 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider, AES 2004: “Wind & Weather”, English, 16 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider, TMT 2006: “Das Mikrophon und der Koerper”, German, 8 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider, TMT 2010: “Kondensatormikrophone im Vergleich”, German, 7 pages

Georg Neumann GmbH Berlin Lecture by Martin Schneider and Juergen Breitlow, TMT 2012: “Das Mikrophon und der Koerper - Teil 2”, German, 11 pages

Georg Neumann GmbH Berlin What’s New: Solution-D Software Release 11/2012, Germ., Publ. 11/12

Georg Neumann GmbH Berlin What’s New: Solution-D Software Release 11/2012, Engl., Publ. 11/12

Georg Neumann GmbH Berlin Brochure “Solution-D - Digital Microphones”, English*, Publ. 02/14

Georg Neumann GmbH Berlin Brochure “Solution-D - Digital Microphones”, German*, Publ 02/14

Georg Neumann GmbH Berlin Overview of microphones and capsules built by Neumann Berlin, English, 12 pages, Publ. 12/2014

Georg Neumann GmbH Berlin Overview of microphones and capsules built by Neumann Berlin, German, 11 pages, Publ. 12/2014

Georg Neumann GmbH Berlin Pocket Guide 2015 German, complete catalog of analog

and digital microphones + accessories, Publ. 02/2015*

Georg Neumann GmbH Berlin Pocket Guide 2015 English, complete catalog of analog and digital microphones + accessories, Publ. 02/2015*

Georg Neumann GmbH Berlin Brief Instruction Sound Diffraction Sphere SBK 130 A, Publ. 05/15

Gerard Maral and Michel Bousquet Satellite Communications Systems, John Wiley & Sons Ltd., 2010

Gerhard Müller and Michael Möser Handbook of Engineering Acoustics, Springer, 2012

Gilbert Held Ethernet Networks – Design, Implementation, Operation and Management, John Wiley & Sons Ltd., fourth edition, 2002

G. J. Hoss Audio Engineering: The Live Set Up, 2013

G. L. Augsperger Contemporary Mixdown Room Design dB Sound Engineering Magazine, vol 15, no 11, novembro 1981

G. L. Augsburger Electrical versus Acoustical Parameters in the Design of Loudspeaker Crossover Networks Journal of the Audio Engineering Society, vol 19, no 6, junho 1971

G. L. Augsburger The Acoustic Lens Electronic World, janeiro 1962

Glenn Ballou Handbook for Sound Engineers Howard W. Sams & co.

Glenn Ballou A Sound Engineers Guide to Audio Test and Measurement, Focal Press, 2009

Glenn Ballou A Sound Engineers Guide to Audio Test and Measurement, Focal Press, 2009

Glenn D White The Audio Dictionary, University of Washington Press, 3rd edition, 2005

Glyn Alkin Sound Recording and reproduction, 3rd edition, 1996

G. L. Wilson More on Measurement of the Directivity Factor Journal of the Audio Engineering Society, vol 22, abril de 1974

G. M. Diehl Machinery Acoustics, 1974

G. M. Hulbert, D. E. Baxa, e A. Seireg Criterion for Quantitative Rating of Optimum Design of Concert Halls Journal of the Acoustical Society of America, vol 71, no 3, março 1982

Gordon Mccomb Installing and Maintaining Sound Systems, 1996

Graeme Clark Cochlear Implants Fundamentals and Applications, Springer Science Business Media Inc., 2003

Gregg Hopkins and Bill Moore Ampeg – The Story Behind the Scenes, Hal Leonard, 1999

Gregg J Boonstra Mixing Sound for Church An Application Guide for The Audio Technician, Colry Publishing, 2014

G. R. Mitchel e C. Menlançon Subnanosecond Protection Circuits for Oscilloscope Inputs

RSI, 56: 1804-1808, setembro 1985

G. R. Stanley TDS Computing Audio, vol 67, no 11, novembro 1983

G. R. Stanley The Microprocessor Based TEF Analyzer AES Preprint no 1946, outubro 1982

G. S. Kendall e C. A. P. Rodgers The Simulation of Three Dimensional Localization Cues for Headphone Listening Proceedings, International Computer Music Conference, 1982

G. Stannley Minimum Phase Defined and Illustrated Syn Aud Con Tech Topics, vol 5, no 10, 1978

Gustav Gautschi Piezoelectric Sensorics, Springer, 2006

G. Von Békésy Auditory Backward Inhibition in Concert Halls Science, vol 171

G. Von Békésy Experiments in Hearing McGraw-Hill, New York, 1960

G. W. Allen Design of Power Line monitoring Equipment IEEE Transactions on Power Line Apparatus and Systems, dezembro 1971

G. W. Mills The Mechanisms of Showering Arc IEEE Transactions on Parts, Material and Packing, março 1969

G. W. Plice Microphone Accessory Shock Mount for Stand or Boom Use Journal of the Audio Engineering Society, vol 19, no 2, fevereiro 1971

G. W. Stewart e R. B. Lindsay Acoustics: a Text on Theory and Application, and Vibrational Physics Van Nostrand Reinhold, New York, 1930

G. W. Tillett A Look at Noise-Reduction Systems Stereo Guide, inverno 1982

H

Handbook on Radio Frequency Interference Frederick Research Corp, Wheaton, 1962

Harry F Olson Music, Physics and Engineering, Dover Books on Music, 1967

Harry Ferdinand Olson Elements of Acoustical Engineering, 1948

Harvey E White Physics and Music, Sounders College, 1980

H. B. Luft The State of the Art in Outdoor Stadium P. A. Systems Syn Aud Con Tech Topics, vol 6, no 10, 1979

H. Brown Don't Leave System Grounding to Chance EDN/EEE, janeiro 1972

H. C. Hardy Acoustical Factors in the Design of Motion Picture Equipment Journal of the SMPTE, vol 50, no 2, fevereiro 1948

H. C. Hardy, D. Telfair e W. H. Pilemetrer The Velocity of Sound In Air Journal of the Acoustical Society of America, vol 13, 1942

H. Claudiere Ambiophony, Has Its Time Finally Arrived?

presented at the 63rd Convention of the Audio Engineering Society AES Preprint no 1492

(F-12) **H. D. Augustadt e W. F. Kannenberg** Longitudinal Noise in Audio Circuits JAES volume 16, no 23, páginas 275-285

Heinrich Kutruff Acoustics An Introduction, S Hirzel Verlag, 2007

Henry W. Ott Digital Circuit Grounding and Interconnection IEEE, International Symposium on EMC, 1981

Henry W. Ott Ground, a Path for Current Flow IEEE, EMC Symposium, 1979

Henry W. Ott Noise Reduction Techniques in Electronic Systems 2ª edição - John Wiley & Sons **Hermann Helmholtz** On The Sensations of Tone, Dover Books on Music, 1954

Hewlett Packard Basic Resistive Technology Bench Briefs, janeiro/fevereiro 1981

Hewlett Packard Exploring the Capacitor Bench Briefs, setembro/outubro 1979

Hewlett-Packard Floating Measurements and Grounding Application Note 123, 1970

H. F. Hopkins e N. R. Stryker A Proposed Loudness-Efficiency Rating for Loudspeakers and the Determination of System Power Requirements for Enclosures Journal of the IRE, março 1948

H. Fletcher Speech and Hearing in Communication Van Nostrand Reinhold, New York, 1953

H. F. Olson Acoustical Engineering Van Nostrand Reinhold, Princeton, New Jersey, 1957

H. F. Olson Acoustical Engineering Van Nostrand, Princeton, 1976

H. F. Olson Analysis of the Effects of Nonlinear Elements Upon the Performance of a Back-Enclosed, Direct Radiator Loudspeaker Mechanism Journal of the Audio Engineering Society, vol 10, no 2, abril 1962

H. F. Olson Music, Physics, and Engineering Dover Publications, New York **H. F. Olson** Solutions of Engineering Problems by Dynamical Analogies, 2ª edição Van Nostrand Reinhold, Princeton, N. J., 1943

H. F. Olson The Action of a Direct Radiator Loudspeaker with a Non-Linear Cone Suspension System Journal of the Acoustical Society of America, vol 16, no 1, julho 1944

H. F. Olson e F. Massa Applied Acoustics Blakiston, Philadelphia, 1934

H. G. Latham The Signal-to-Noise Ratio for Speech Intelligibility - an Auditorium Design Index Applied Acoustics, vol 12, julho 1979

H. G. Smith Acoustic Design Considerations for Speech Intelligibility Journal of the Audio Engineering Society, vol 29 no 6, junho 1981

H. Haas The Influence of a Single Echo on the Audibility of Speech Journal of the Audio Engineering Society, vol 20, março de 1972

H. J. Klein What We Found When We Measured Telephone Line Impedances Syn Aud Con Tech Topics, Vol 8, No 10, 1981

- H. K. Mertel** International and National Radio Frequency Interference Regulations Don White Consultants, Germantown, 1978
- H. Kuttruff** Room Acoustics Halstead Press, New York, 1973
- H. L. F. Helmholtz** On The Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music, 2ª edição Dover, New York, 1954
- H. M. Bascom** US Patent 1,358,053, novembro 1920
- H. M. Schlicke** Compatible EMI Filters IEEE Spectrum, outubro 1967
- H. M. Tremaine** Audio Cyclopaedia, 2ª edição Howard W. Sams & Co, Indianapolis, Ind., 1969
- H. M. Tremaine** Passive Audio Network Design Howard W. Sams & Co., Indianapolis, 1964
- H. N. H. Iwamura, A. Miyashita, e T. Anagawa** Pulse-Code Modulation Recording System Journal of the Audio Engineering Society, vol 21, no 7, 1973
- Homayoon Beigi** Fundamentals of Speaker Recognition, Recognition Technologies Inc., 2011
- H. O. Nash e F. M. Wells** Power Systems Disturbances and Considerations for Power Conditioning IEEE Transactions on Industry Application, novembro 1985
- H. P. Seraphim** Über die Wahrnehmbarkeit Mehrerer Rückwürfe von Sprachshall Acustica, vol 11, 1961
- H. R. R. Adams** SI Metric Units, an Introduction Revised Edition **H. S. Antman** Extension to the Theory of Howlback in Reverberant Rooms Journal of the Acoustical Society of America, vol 39, fevereiro de 1966
- H. Schafft** A New Piezoelectric Direct Radiating Tweeter presented at the 42nd Convention of the Audio Engineering Society, Los Angeles, maio 1972
- H. Stote** The Motion Picture Theater SMPTE, New York, 1948
- H. Suzuki e J. Tichy** Diffraction of Sound by a Convex or a Concave Dome in a Infinite Baffle Journal of the Acoustical Society of America ASA preprint 0 (5), novembro 1981
- H. T. Friis** Noise Figures of Radio Receivers proceedings of the IRE, vol 32, julho 1944
- Hugh Catts and Tina Olsen** Sounds Abound Listening, Rhyming and Reading, 1993
- H. Wallace, E. B. Newman e M. R. Rosenzweig** The Precedence Effect in Sound Localization Journal of the Audio Engineering Society, vol 21, no 10, dezembro de 1973
- H. W. Augustadt e W. F. Kannenberg** Longitudinal Noise in Audio Circuits Journal of the Audio Engineering Society, vol 16, no 3, 1966
- H. W. Denny** Grounding for the Control of EMI Don White Consultants, Germantown, 1983
- H. W. Lord** High Frequency Transient Voltage Measuring Technique IEEE Transactions on

Communications and Electronics, 82, novembro 1963

H. W. Schafft Acoustic Horn US Patent 3,852,529, dezembro 1974

I

Ian Sinclair Audio and Hi-Fi Handbook, Butterworth-Heinemann, 2000

I. B. Crandall Theory of Vibrating Systems and Sound, NN Laboratories Vented Box Loudspeaker Design Program Van Nostrand Reinhold, New York, 1954

IEC 60268-10 Ed. 2.0b:1991

Sound System Equipment – part 10 – Peak Programme Level Meters, 2007

IEC 61329 Ed. 1.0b:1995

Sound System Equipment – Methods of Measuring and Specifying the Performance of Sounders (electroacoustic transducers for tone production), 2007

IEC 62268-1 Ed. 1.0b:1971

Sound System Equipment – part 6: Auxiliary Passive Elements, 1971

IEC 62268-1 Ed. 2.0b:1985

Sound System Equipment – part 1: General, 1985

IEC 62268-11 Ed. 2.0b:1987

Sound System Equipment – part 11: Application of Connectors for the Interconnection of Sound System Components, 2007

IEC 62268-12 Ed. 2.0b:1987

Sound System Equipment – part 12: Application of Connectors for Broadcast and Similar Use, 2007

IEC 62268-14 Ed. 2.0b:1980

Sound System Equipment – part 14: Circular and Elliptical Loudspeaker; Outer Frame Diameters and Mounting Dimensions, 2007

IEC 62268-16 Ed. 3.0b:2003

Sound System Equipment – part 16: Objective Routing of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index, 2003

IEC 62268-17 Ed. 1.0b:1990

Sound System Equipment – part 17: Standard Vowels Indicators, 2007

IEC 62268-2 Ed. 2.0b:1987

Sound System Equipment – part 2: Explanation of General Terms and Calculation Methods, 2007

IEC 62268-3 Ed. 3.0b:2000

Sound System Equipment – part 3: Amplifiers, 2007

IEC 62268-4 Ed. 3.0b:2004

Sound System Equipment – part 4: Microphones, 2004

IEC 62268-5 Ed. 3.0b:2003

Sound System Equipment – part 5: Loudspeakers, 2003

IEC TC/SC 100, IEC 60849 Ed. 2.0

1998, Sound System for Emergency Purposes, 2007

IEC/PAS 62458 Ed. 1.0 en:2006

Sound System Equipment – Electroacoustical Transducers – Measurement of Large Signals, 2007

IEC/PAS 62459 Ed. 1.0 en:2006

Sound System Equipment – Electroacoustical Transducers – Dynamic Measurements of Suspension Parts, 2007

IEC/TR 62268-13 Ed. 2.0b:1998

Sound System Equipment – part 13: Listening Test Loudspeakers, 2007

IEC/TR 62268-18 Ed. 2.0b:1995

Sound System Equipment – part 18: Peak Programme Level Meters – Digital Audio Peak Level Meter, 1995

IEC Publication 268-15

Sound System Equipment International Electrotechnical Commission **I. B. Johnson** Switching Surges AIEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 80, junho 1961

I. Imoto, M. Iwahara, e H. Onoye Technique for Observing Loudspeaker Wave-Front Propagation Journal of the Audio Engineering Society, vol 24 no 1/2, janeiro/fevereiro 1976

Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

IEEE Standard Dictionary of Electronic Terms 2ª edição, ANSI/IEEE STD 100-1977

International Electrotechnical Commission Publication 60-2

High Voltage Test Techniques, Test Procedures, 1973

International Electrotechnical Commission Publication 801-4

Electromagnetic Compatibility for Industrial Process Measurement and Control Equipment, part IV, Electrical Fast Transient/Burst Requirements, 1987

Ira White Audio Made Easy, Hal Leonard Co., 2007

ITT Reference Data for Radio Engineers, 5ª edição Howard W. Sams, Indianapolis, Ind., 1968

Ivan Jelev Tashev Sound Capture and Processing, John Wiley & Sons, 2009

Ivan Luk and David M Golden Pro Audio 16 The Official Book, 1993

Ivor D. Groves Acoustic Transducers, 1982

I. Wolff e L. Malter Directional Radiation of Sound Journal of the Acoustical Society of America, outubro de 1930

J

Jacob Benesty and Constantin Paleologu A Perspective on Stereophonic Acoustic Echo Cancellation, Springer, 2011

Jacob Benesty and M M Sondhi Springer Handbook of Speech Processing, Springer, 2007

James A Wasem Great Church Sound, Great Sound Institute, 2015

James Beament How We Hear Music – The Relationship Between Music and the Hearing mechanism, 2003

James H. Prout and Gordon R Bienvenue Acoustic for You, 1991

James Headley Rigging, 2012

James Lastra Sound Technology and The American Cinema, Columbia University Press, New York, 2000

James P. Cowan The Effects of Sound on People, John Wiley & Sons, 2016

James P. G. Sterbenz and Osamu Takada Active Networks, IFIP – TC6 4th International Working Conference, IWAN 2002, Zurich, Switzerland, December 4-6 2002, Proceedings, 2003

Jamie Rio and Chris Buono House of Worship Sound Reinforcement, Stacy Hiquet, 2009

Jan Roberts-Breslin Making Media Foundations of Sound and Image Production, Focal Press, 3rd edition, 2011

Jason Andrew Corey and Jason Corey Audio Production and Critical Listening Technical Ear Training, Audio Engineering Society, 2010

Jay O. Glerum Stage Rigging Handbook, Jay O Glerum, third edition, 2007

Jay Perdue Twenty Years of Educational Acoustics, Perdue Acoustics, 2013

Jay Rose Audio Postproduction for Film and Video, Focal Press, 2008

J. A. Woody Modeling of Parasitic Effects in Discrete Passive Components Rome Air Development Center, RADC-TR-83-32, fevereiro 1983

J. Backus The Acoustical Foundations of Music Norton, New York, 1969

J. B. Grantham Airborne Noise Control in Lightweight Floor/Ceiling Systems, Sound and Vibration vol 5, no 6, junho de 1971

J. B. Hays e D. W. Bodle Electrical Protection of Tactical Communication Bell Laboratories Technical Report, agosto 1958

J. B. Johnson Thermal Agitation of Electricity in Conductors Physical Review, vol 32, julho 1928

J. B. Lansing e J. K. Hilliard An Improved Loudspeaker System for Theaters Journal of the SMPTE, novembro 1945

JBL Professional Sound System Design Reference Manual Northridge, CA **J. Carr** OP AMP Circuit Design & Applications Tabs Books, Inc., Blue Ridge Summit, 1976

J. Christophorou Low-Frequency Loudspeaker Measurements with an Accelerometer presented at the 62nd Convention of the Audio Engineering Society, Brussels, março 1979

AES preprint no 1444 (D-6) **J. Cooper** The Construction of the Saul Zaentz Film Center dB The Sound Engineering Magazine, vol 14, no 7, julho 1980

J. David Irwin Industrial Noise and Vibration Control, 1979

J. D. Cuffman, J. Linders e M. A. Zucker Power Factor Correction Capacitors and Their Side Effects IEEE, 28th Annual Conference of Electrical Engineering Problems in the Rubber and Plastics Industry, 1976

J. D. Harnden, F. D. Matzloff, W. G. Morris e F. G. Golden Metal Oxide Varistor - A New Way to Suppress Transients Electronics, outubro 1972

J. D. Kimball Static Magnetic Regulators, part I Electronic Products, 1966

J. D. Kimball Static Magnetic Regulators, part II Electronic Products, 1967

J. D. Lenk Applications Handbook for Electrical Connectors Howard W. Sams, Indianapolis, Ind., 1966

Jean Louis Migeot Acoustics, 2016

Jean-Christophe Valière Acoustic Particle Velocity Measurements Using Laser, John Wiley & Sons Ltd., 2014

J. Eargle The Microphone Handbook Elar Publishing Co., Inc.

J. Eargle Sound Fields, Part III dB The Sound Engineering Magazine, vol 16, no 12, dezembro 1982

J. E. Benson e D. F. Craig A Feedback Mode Analyser-Suppressor Unit for Auditorium Sound System Stabilisation Proceedings, IRRR, Australia, março de 1969

J. E. Benson An Introduction to the Design of Filtered Loudspeaker Systems Journal of the Audio Engineering Society, vol 23, no 7, setembro 1975

J. E. Bollinger e R. Brook BNN Laboratories Vented Box Loudspeaker Design Program A BASICA Computer Program **Jens Blauert** Spatial Hearing – Revised Edition The Psychophysics of Human Sound Localization, 1996

Jeroen Breebaart and Christof Faller Spatial Audio Processing MPEG Surround and Other Applications, John Wiley & Sons Ltd., 2007

Jerry A Klinke Rigging Pocket Guide, 2007

Jerry Whitaker Master Handbook of Audio Production, McGraw-Hill Books, 2002

Jerry Whitaker Standard Handbook of Audio engineering, 2001

J. F. Blackburn Loudspeaker US Patent 2,1183,528, dezembro 1939

J. F. Dundovic Magnetic Head Relapping Techniques Journal of the Audio Engineering Society, vol 24, no 8, 1976

J. F. Novak Performance of Enclosures for Low Resonance High Compliance Loudspeakers Journal of the Audio Engineering Society, vol 7, no 1, janeiro 1959

J. F. Novak Performance of Series-Parallel Speaker Arrays Audio Magazine, setembro 1961

J. F. Rider Installation and Servicing of Low Power Public Address Systems John F. Rider Publisher, New York, 1948

J. Furman Power Conditioning for Audio Sound and Video Contractor, outubro 1994

J. G. Frayne e H. Wolfe Elements of Sound Recording Willey, New York, 1949

J. G. Macknight Erasure of Magnetic Tape Journal of the Audio Engineering Society, vol 11, no 3, 1963

J. G. Macknight Low-Frequency Response Calibration of Multitrack Magnetic Tape Recording and Reproducing System Journal of the Audio Engineering Society, vol 26, no 4, 1978

J. Graeme, G. Tobey e L. Huelsman Operational Amplifiers, Design and Applications McGraw Hill **J. G. Sola** Transformer Having Constant and Harmonic Free Output Voltage US Patent 2.694.177, novembro 1984

J. H. Bull e W. Nethercot The Frequency of Occurrence and the Magnitude of Short Duration Transients in Low-Voltage Supply Mains The Radio and Electronic Engineer, setembro 1964

J. Hebrank e D. Wright Are Two Ears Necessary for Localization of Sound Sources in the Median Plane?

Journal of the Acoustical Society of America, vol 56, no 3, 1974

J. Henry On Acoustics Applied to Public Buildings presented at the American Association for the Advancement of Science, em agosto de 1856

(papel técnico publicado posteriormente pelo Smithsonian Institution Publication) **J. Hilliard** Historical Review of Horns Used for Audience Type Sound Reproduction Journal of the Acoustical Society of America, vol 59, no 1, janeiro 1976

J. H. Vogelmann A Theoretical Analysis of Grounding IEEE Transaction on Aerospace, vol AS-2, abril de 1964

Jim Yakabuski Hal Leonard Professional Sound Reinforcement Techniques, Hal Leonard, 2001

J. J. Goedbloed Transient in Low Voltage Supply Networks IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 29, maio 1987

J. K. Hilliard High-Power, Low Frequency Loudspeakers Journal of the Audio Engineering Society, julho 1965

J. K. Hilliard Notes on How Phase and Delay Distortions Affect the Quality of Speech, Music and Sound Effects IEEE Transactions on Audio, março/abril de 1964

J. K. Hilliard The Application of Acoustics to Jet and Missile problems Altec Tech Memo, abril 1958

J. Jacob e R. Millward Building Tres Virgos dB The Sound Engineering Magazine, vol 15, no 11, novembro 1981

J. King The Use of Magnetic Fluids in Loudspeaker Design AES preprint no 1246 (K-1) **J. L. Bernstein** Audio Systems John Wiley & Sons, New York, 1966

J. L. Burgoyne Jr.

St. Andrew Parish Church Sound System Syn Aud Con Tech Topics, vol 4, no 3, 1977

J. M. Kates Analysis of Decoupled-Cone Loudspeakers Journal of the Audio Engineering Society, vol 25, no 1/2, janeiro/fevereiro 1977

J. M. Kates Radiation From a Dome Journal of the Audio Engineering Society, vol 24, no 9, novembro 1976

J. Moir High Quality Sound Reproduction, Macmillan, New York, 1958

J. M. van Nieuwland e C. Weber Eigenmodes in Nonrectangular Reverberation Rooms Noise Control Engineering, vol 13, no 3, novembro/dezembro de 1979

J. Nakazono, et al.

Coaxial Flat-Plane Loudspeaker with Polymer-Graphite Honeycomb Sandwich Plate Diaphragm AES preprint no 1662 (J-6) **John A. Kleppe** Engineering Applications of Acoustics, 1989

John Bermelmans Marciano Whatever Happened to the Metric System, Bloomsbury Publishers, New York, 2014

John Borwick Loudspeaker and Headphone Handbook, John Borwick editor, 1988

John Borwick Sound Recording Practice, edited by John Borwick, 1996

John Bracewell Sound Design in the Theater, 1993

John D Lenk Lenk's Audio Handbook: Operation and Troubleshooting, McGraw-Hill Books, 1991

John Dear The Sound of Listening, Wipf and Stock Publishers, 2006

John Eargle and Chris Foreman JBL Audio Engineering for Sound Reinforcement, 2002

John Eargle Microphone Handbook, 1982

- John F. Eiche** Yamaha Guide to Sound Systems for Worship Hal Leonard Publishing Co.
- John Foreman** Sound Analysis and Noise Control, Van Nostrand Reinhold, 1990
- John Huntington** Control Systems for Live Entertainment, Focal Press, 2007
- John Linsley Hood** Audio Electronics, Butterworth-Heinemann Ltd., 1995
- John M. Eargle** Electroacoustical Reference Data – Electrical Engineering, Springer Science Business Media New York, 1995
- John S. Rigden** Physics and the Sound of Music, John Wiley & Sons, 2nd edition, 1985
- John van Opstal** The Auditory System and Human Sound Localization Behavior, Elsevier, 2016
- John Vasey** Concert Sound and Lighting Systems Focal Press, 2016
- John Watkinson and Francis Rumsey** Digital Interface Handbook, Focal Press, 2003
- John Watkinson** The Art of Sound Reproduction, Focal Press, 1998
- John Windt** An Easily Implemented Procedure for Identifying Electromagnetic Compatibility AES 3918(I-5) **Jonathan Wyner** Audio Mastering Essential Practices, Berklee Press, Boston, MA, 2013
- Joseph MacDonald** Rigging Equipment maintenance and Safety Inspection Manual, McGraw-Hill Books, 2010
- Joshua E. Greenspon** Structural Acoustics Deterministic and Random Phenomena, CRC Press Taylor and Francis Group, 2011
- Journal of the Audio Engineering Society, vol 33, no 12, dezembro 1985**
- AES Recommended Practice for Digital Audio Engineering - Serial Transmission Format for Linearity Represented Digital Audio Data AES3-1985 (ANSI S4.40-1985) **Journal of the Audio Engineering Society, vol 39, no 5, maio 1991**
- AES Recommended Practice for Digital Audio Engineering - Serial Multichannel Audio Digital Interface (MADI) AES10-1991 (ANSI S4.43-1991) **Journal of the Audio Engineering Society, vol 40, no 1/2, janeiro/fevereiro 1992**
- AES Standard for Professional Audio Equipment - Application of Connectors, part 1, XLR-type Polarity and Gender AES14-1992 (ANSI S4.48-1992) **Journal of the Audio Engineering Society** Available to members only.
- Audio Engineering Society Membership Information, 60 East 42nd Street, New York, NY 10017.
- Journal of the Audio Engineering Society, vol 42, no 7/8, julho/agosto 1994**
- Draft AES-3ID-xxxx, Draft AES Information document for Digital Audio Engineering - Transmission of AES3 Formatted Data by Unbalanced Coaxial Cable Insert
- Journal of the Audio Engineering Society, vol 42, no 7/8, julho/agosto 1992**

Insert

Journal of the Audio Engineering Society, vol 43, no 3, março 1995

AES Engineering Reports-Report on the SC-02-05 Working Group on Synchronization of the SC-02 Subcommittee on Digital Audio, 1994-11-09

J. P. Maxfield Some Physical Factors Affecting the Illusion in Sound Motion Pictures
Journal of the Acoustical Society of America, vol 3, no 1, Part I, julho 1931

J. P. Myres e A. Feinberg High-Quality Professional Recording Using New Digital Techniques
Journal of the Audio Engineering Society, vol 20, no 8, 1972

J. P.A. Lochner e F. F. Burger The Influence of Reflections on Auditorium Acoustics
Journal of Sound and Vibration, vol 4, outubro 1964

J. R. Ashley e A. Kaminsky Active and Passive Filters as Loudspeaker Crossover Networks
Journal of the Audio Engineering Society, vol 19, no 6, junho 1971

J. R. Ashley, A. Saponas e R. C. Matson Test Signal for Music Reproduction Systems
IEEE Spectrum, julho de 1971

J. R. Ashley e M. D. Swam Experimental Determination of Low-Frequency Parameters
Journal of the Audio Engineering Society, vol 17, no 5, outubro 1969

J. R. Gilliom Design Problems of High Level Cone Loudspeakers
Journal of the Audio Engineering Society, vol 25, no 5, maio 1977

J. R. Gilliom Distortion in Dynamic Loudspeakers Due to Modulation of the Permanent Field presented at the 42nd Convention of the Audio Engineering Society, Los Angeles, maio 1972

AES preprint no L-10

J. R. Nicholson e J. A. Malack RF Impedance of Power Lines and Line Impedance Stabilization Networks in Conducted Interference Measurements
IEEE Transactions on EMC, maio de 1973

J. Roberts, “\$70 Decoder for New CX Records Popular Electronics, janeiro 1982

J. R. Prohs e D. E. Harris An Accurate and Easily Implemented Method of Modeling Loudspeaker Array Coverage
AES preprint no 1941 (A-8), outubro 1982

J. S. Bendat e G. Piersol Random Data: Analysis and Measurement Procedures
Wiley Interscience, New York, 1971

J. Tanenbaum Usando ElCodigo de Tiempo Mix Magazine, edición en Español, setembro 1994

J. T. Bernsley P.A. Installation and Service: Modern Methods of Servicing and Installing

P.A. Equipment Randcraft Publications, New York **J. Tyndall** The Science of Sound Citadel Press, New York, 1964

Julian Nathan Back to Basics Audio, Butterworth-Heinemann, 1998

Julian Treasure Sound Business, 2nd edition, Management Books, 2014

Julius O Smith III Spectral Audio Signal Processing, W3K Publishing, 2011

J. W. Strutt e B. Rayleigh The Theory of Sound, volumes I e II, 2ª edição Dover, New York, 1945

K

Karin Bijsterveld Mechanical Sound Technology, Wiebe E Bijker, W Bernard Carlson and Trevor Pinch editors, 2008

Karl F. Graff Wave Motion in Elastic Solids, Dover Books on Physics, 1991

K. A. T. Knox Semiconductor Devices in Hostile Electrical Environments Electronics and Power, 19, dezembro 1973

K. Clunis e J. T. Mullin Advanced Tape Mastering System Journal of the Audio Engineering Society, vol 12, no 4, 1964

K. Cousineau Grounding and Shielding Techniques for Portable Reinforcement Systems AES Preprint no 1259 (D-7) **K. C. Zangi and Alan V. Oppenheim** Active Noise Cancellation (ANC) System Design Engineering, 2007

K. E. Howell How Switches Produce Electrical Noise IEEE Transactions on EMC, vol EMC-21, agosto 1979

Keith Attenborough and Kai Ming Li Predicting Outdoor Sound, CRC Publishers, Taylor and Francis Group, USA and Canada, 2006

Kenneth Fause Audio Shielding, Grounding and Safety Recording Engineer and Producer, Volume 9 No 3

Ken Pohlmann Handbook of Sound Studio Construction, McGraw-Hill Books, 2012

K. E. Randall e F. L. Ward Diffusion of Sound in Small Rooms Proceedings IEE (British), vol 107B, setembro 1960

Klaus Fyrer Wire Ropes Tension, Endurance and Reliability, Springer Heidelberg, New York, Dordrecht, London, 2014

K. M. Bourne Professional Wireless Microphones Simplify Sound System Design dB The Sound System Engineering Magazine, fevereiro 1982

K. N. Lambert e R. C. Peterson Electrolytic Capacitor and Filter Network US Patent 3.439.230, abril 1969

K. O. Johnson Single-Ended Wide-Range Electrostatic Tweeters with High Efficiency and

Improved Dynamic Range Journal of the Audio Engineering Society, julho 1964

K. S. H. Lee EMP Interaction: Principles, Techniques and Reference Data Hemisphere Publishing Co., Washington DC, 1986

K. Yamaguchi, T. Fujita, F. Kawakami, e H. Sotome Design of an Auditorium Where Electroacoustical Technology is Fully Available: Exhibition Hall of Yamaha Sportland Tsumagoi Journal of the Acoustical Society of America, vol 62, no 5, novembro 1977

K. W. Klein, P. R. Barnes e H. W. Zaininger Electromagnetic Pulse and the Electric Power network IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 104, junho 1985

L

L. A. Lessing A Man of High Fidelity: Edwin Howard Armstrong Lippincott, Philadelphia, 1956

L. A. Trinogga e D. F. Oxford JFET Noise Figure Measurements Electronic Engineering, abril 1974

Laurence Ziomek Fundamentals of Acoustic Field Theory and Space-Time Signal Processing, CFC Press Inc., 1995

Lawrence E Kinsler and Austin R Frey Fundamentals os Acoustics, Hamilton Press, fourth edition, 1999

L. Bachman Investigation of Power Line Transient Suppression Components and Devices US Naval Electronic Systems Engineering Activity 82-02-26

L. Blair Benson Audio Engineering Handbook, 1988

L. Blakely, dbx Inc.

Using Noise Reduction to Reduce Disc Surface Noise Recording Engineer and Producer, vol 4, no 6, dezembro 1973

L. Boden Basic Disc Mastering, 1980

L. Cowan Recording Sound for Motion Pictures McGraw-Hill, New York, 1931

L. Cremer e H. A. Müller translated by T. J. Schultz, Principles and Applications of Room Acoustics, vol 1

Applied Science Publishers, London, 1982

L. Cremer and M. Heckl Structure-Borne Sound and Sound Radiations at Audio Frequencies, Springer, 2005

Lectrosonics, Inc.

Wireless Microphone Systems, Operational Basics and Applications Rio Rancho, NM, 1993

L. E. Kinsler e A. R. Frey Fundamentals of Acoustics John Wiley & Sons, New York,

1962

Leland K Irvine and Roy L Richards Acoustics and Noise Control Handbook for Architects and Builders, 1998

Leo Beranek and Christopher Jaffe The Acoustics of Performance Halls Spaces for Music from Carnegie Hall to the Hollywood Bowl, 2010

Leo Beranek and Istvan L Vér Noise and Vibration Control Engineering Principles and Applications, John Wiley & Sons Inc. New Jersey, 2005

Leo Beranek and Tim Mellow Acoustics Sound Fields and Transducers, Academic Press is an imprint of Elsevier, first edition, 2012

Leo Beranek Acoustics, 1986

Leo Beranek Concert Halls and Opera Houses Music, Acoustics and Architecture, Springer New York, 2003

L. F. Cysne Acústica para o Home Studio, ebook, 2016

L. F. Cysne Áudio Engenharia e Sistemas H. Sheldon Serviços de Marketing, 1989

L. F. Cysne Áudio Engenharia e Sistemas, ebook, 2016

L. F. Cysne Audiofilia – Afine sua Percepção, ebook, 2016

L. F. Cysne Bricando com as Válvulas, ebook, 2016

L. F. Cysne Canal Luiz Cysne no YouTube – diversos clipes, 2014 - 2016

L. F. Cysne Controle de Ruídos em Sistemas de Áudio Em fase de publicação pela Editora Música e Tecnologia quando da redação deste apêndice **L. F. Cysne** Controle de Ruídos em Sistemas de Áudio, ebook, 2016

L. F. Cysne Como Instalar seu Equipamento Revista Somtrês, edição especial 1983

L. F. Cysne Como Ligar Aparelhos de Áudio Revista Somtrês, edição especial 1984

L. F. Cysne Concept of a Sound Reinforcement System presented at the 86th Convention of the Audio Engineering Society, New York, novembro 1987

AES preprint no S 2523 (L-3) **L. F. Cysne** A Convivência Entre o Som e A Imagem Revista Home Theater, no 1, junho 1996

L. F. Cysne A Nova Era dos Efeitos Sonoros Revista Home Theater, no 3, agosto 1996

L. F. Cysne De Quantos Watts Eu Preciso?

Revista Home Theater, no 7, dezembro 1996

L. F. Cysne Equalização - O Que Fazer Com Ela?

Revista Home Theater, no 8, janeiro 1997

L. F. Cysne Técnicas de Captação Microfônica, ebook, 2016

L. F. Cysne TV's e Projetores de Vídeo - Prós e Contras Revista Home Theater, no 9, fevereiro de 1997

L. F. Cysne Manual de Treinamento - capítulos 1 a 7

EASY PROGRAMA DE TREINAMENTO AUDITIVO, maio 1997

L. F. Cysne Inteligibilidade - Meta do Projeto de Acústica Revista Música e Tecnologia, ano II, no 13, julho 1989

L. F. Cysne Amplificadores, parte 1

Revista Música e Tecnologia, ano II, no 15, setembro 1989

L. F. Cysne Amplificadores, parte 2

Revista Música e Tecnologia, ano II, no 16, outubro 1989

L. F. Cysne Sistemas de 70 volts, ebook, 2016

L. F. Cysne Tecnologia da Voz Revista Música e Tecnologia, ano II, no 17, novembro/dezembro 1989

L. F. Cysne Espectrometria Por Atraso de Tempo e Analisadores TEF, Poderosa Ferramenta Para os Engenheiros Revista Música e Tecnologia, ano II, no 18, janeiro 1990

L. F. Cysne Sistemas de Áudio e Interferências Revista Música e Tecnologia, ano II, no 20, março 1990

L. F. Cysne Linhas de Alta Impedância/Tensão Constante Revista Música e Tecnologia, ano III, no 21, abril/maio 1990

L. F. Cysne Potência Elétrica Necessária e Headroom Revista Música e Tecnologia, ano III, no 22, junho/julho 1990

L. F. Cysne Como Escolher Microfones Revista Música e Tecnologia, ano III, no 26, fevereiro/março 1991

L. F. Cysne Como Empregar Microfones, parte 1

Revista Música e Tecnologia, ano III, no 27, abril/maio 1991

L. F. Cysne Como Empregar Microfones, parte 2

Revista Música e Tecnologia, ano III, no 28, junho/julho 1991

L. F. Cysne Como Empregar Microfones, parte 3

Revista Música e Tecnologia, ano III, no 29, agosto/setembro 1991

L. F. Cysne Palácio Avenida - O Projeto Passo a Passo, parte I Revista Música e Tecnologia, ano IV, no 31, janeiro 1992

L. F. Cysne Palácio Avenida - O Projeto Passo a Passo, parte II Revista Música e Tecnologia, ano IV, no 32, fevereiro/março 1992

L. F. Cysne Absorção de Baixas Frequências Revista Música e Tecnologia, ano III, no 36, outubro/novembro 1992

L. F. Cysne Energia, Aterramento e Ruído - Encarte Especial Revista Música e Tecnologia, ano IV, no 38, fevereiro/março 1993

- L. F. Cysne** Compressão Dinâmica Revista Música e Tecnologia, ano VIII, no 51, 1995
- L. F. Cysne** Microfonia - Esse Bicho Pega? parte I Revista Música e Tecnologia, ano VIII, no 59, 1996
- L. F. Cysne** Microfonia - Esse Bicho Pega?, parte II Revista Música e Tecnologia, ano VIII, no 60, 1996
- L. F. Cysne** Seção Análise Revista Música e Tecnologia, ano VIII, no 61, 1996
- L. F. Cysne** Enquanto o CD Não Chega Revista Somtrês, no 6, maio de 1979
- L. F. Cysne** A Hora de Optar Entre o Rolo e O K7
Revista Somtrês, no 10, outubro de 1979
- L. F. Cysne** Como Não Ligar Suas Caixas Acústicas Revista Somtrês, no 12, dezembro de 1979
- L. F. Cysne** Onde Colocar Suas Caixas Acústicas Revista Somtrês, no 15, março de 1980
- L. F. Cysne** Quem Se Lembra da Antena?
Revista Somtrês, no 19, julho de 1980
- L. F. Cysne** Só Compre O Que Você Pode Ouvir Revista Somtrês, no 32, agosto de 1981
- L. F. Cysne** O Segredo de Cada Equipamento Revista Somtrês, no 40, abril de 1982
- L. F. Cysne** E Agora Com Vocês A Caixa Acústica Revista Somtrês, no 41, maio de 1982
- L. F. Cysne** O Lado de Dentro da Caixa Acústica Revista Somtrês, no 42, junho de 1982
- L. F. Cysne** A Solução de Cada Modelo Revista Somtrês, no 43, julho de 1982
- L. F. Cysne** A Questão da Potência das Caixas Acústicas Revista Somtrês, no 44, agosto de 1982
- L. F. Cysne** Como Se Monta a Caixa Acústica Revista Somtrês, no 45, setembro de 1982
- L. F. Cysne** Sua Excelência, o Braço Revista Somtrês, no 52, abril de 1983
- L. F. Cysne** Decibel - O Metro do Planeta Som Revista Somtrês, no 56, agosto de 1983
- L. F. Cysne** A Caligrafia do Som Revista Somtrês, no 57, setembro de 1983
- L. F. Cysne** Casadores de Impedância - Seção Output Revista Somtrês, no 60, dezembro de 1983
- L. F. Cysne** Equalizadores Revista Somtrês, no 63, março de 1984
- L. F. Cysne** Microfones - Como Escolher o Melhor Revista Somtrês, no 70, outubro de 1984
- L. F. Cysne** Que Tipo de Ouvinte é Você?
Revista Somtrês, no 78, junho de 1985
- L. F. Cysne** Mascaramento Acústico Revista Somtrês, no 87, março de 1986
- L. F. Cysne** Tecnologia do Vai e Vem Revista Somtrês, no 99, março de 1987

- L. F. Cysne** Os Limites do Seu Ouvido Revista Somtrês, no 101, maio de 1987
- L. F. Cysne** Entendendo o Tape Deck - parte I Revista Somtrês, no 107, novembro de 1987
- L. F. Cysne** Entendendo o Tape Deck - parte II Revista Somtrês, no 108, dezembro de 1987
- L. F. Cysne** Feira de Nova Iorque Ao Vivo Revista Somtrês, no 109, janeiro de 1988
- L. F. Cysne** Seção ABC do Som Revista Somtrês, no 110, fevereiro de 1988
- L. F. Cysne** Equalização - Análise da Precisão Revista Somtrês, no 112, abril de 1988
- L. F. Cysne** Seção ABC do Som - Os Segredos do Equalizador Revista Somtrês, no 113, maio de 1988
- L. F. Cysne** Seção ABC do Som - Crossovers Eletrônicos Revista Somtrês, no 117, setembro de 1988
- L. F. Cysne** Medidor de Impedâncias Revista Somtrês, no 118, outubro de 1988
- L. F. Cysne** Medidor de Baixas Resistências Revista Somtrês, no 119, novembro de 1988
- L. F. Cysne** Conheça o Mixer Revista Somtrês, no 120, dezembro de 1988
- L. F. Cysne** Com Cara de Gringo Revista Somtrês, no 121, janeiro de 1989
- L. F. Cysne** Consulta a Diversas das Seções Output Revistas Somtrês, no 4 a 121
- L. F. Cysne** Consulta a Diversas das Seções Caderno de Serviços Revistas Somtrês, no 46 a 121
- L. F. Cysne** Sistemas de Áudio e Interferências Revista Música e Tecnologia, março 1990
- Libby-Owens-Ford Company** Breaking the Sound Barrier, Publication AR-3
- L. J. S. Bradbury** The Use of Fibrous Materials in Loudspeaker Enclosures Journal of the Audio Engineering Society, vol 24, no 6, abril 1976
- L. J. Sivian, H. K. Dunn e S. D. White** Absolute Amplitude and Spectra of Certain Musical Instruments and Orchestras IRE Transactions on Audio, maio/junho de 1959
- L. Kahaner** Audio and Video Interference Cures Hayden Book Co.
- L. L. Beranek** Acoustic Measurements Willey Interscience, New York, 1949
- L. L. Beranek** Acoustics McGraw-Hill, New York, 1954
- L. L. Beranek** Audience and Seat Absorption in Large Halls Journal of the Acoustical Society of America, vol 32, no 6, junho 1960
- L. L. Beranek** moderator of the Forum on Motion Picture Theatre Acoustics Journal of the SMPTE, vol 57, no 2, agosto 1951
- L. L. Beranek** Music, Acoustics, and Architecture John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962
- L. L. Beranek** Noise and Vibration Control McGraw-Hill, New York, 1971
- L. L. Beranek** Noise Reduction McGraw-Hill, New York, 1960

L. L. Beranek Revised Criteria for Noise in Buildings Noise Control, vol 3, no 1, janeiro de 1957

L. L. Beranek, W. E. Blazier e J. J. Figwer Preferred Noise Criteria (PNC) Curves and Their Application to Rooms presented at the 81º Meeting of the Acoustical Society of America, Washington, DC, abril de 1971

L. M. Levinson e H. R. Phillip ZnO Varistors for Transient Protection IEEE transactions on Parts, Hybrids and Packing, 13, dezembro 1977

L. L. Doelle Environmental Acoustics McGraw-Hill, New York, 1972

Lord Rayleigh The Theory of Sound, volumes I and II, 1945

Louis Frenzel Electronics Explained – The New Systems Approach to learning Electronics, Newnes in an imprint of Elsevier, 2010

L. Rayleigh Theory of Sound Dover Publications, New York, 1877 (original), 1945 (primeira publicação americana) **L. Solem, R. P. Fischer e R. G. Strate** The Natural history of Electrical Injury Journal of Trauma, no 17, julho 1977

L. W. Sepmayer Computed Frequency and Angular Distribution of the Normal Modes of Vibration in Rectangular Rooms Journal of the Acoustical Society of America, vol 37, no 3, 1965

L. Zide Fantasy Recording/Zaentz Film Center: A Candy Store for the 80's dB The Sound Engineering Magazine, vol 14, no 8, agosto 1980

M

Magnecraft Electric Co.

Designer's Handbook and Catalog of Reed and Mercury Wetted Contact Relays, Chicago, Illinois **Magnecraft Electric Co.**

Designer's Handbook and Catalog of Time-Delay Relays, Chicago, Illinois **Magnecraft Electric Co.**

Solid-State Relays Chicago, Illinois **Malcom J. Crocker** 4 volume set, Encyclopedia of Acoustics, 1997

Marc Asselineau Building Acoustics, CRC Press Taylor and Francis Group, 2015

Mark Amundson Live Sound Theory and Practice, Timeless Communications Corp., 2007

Mark F Hamilton and David T Blackstock Nonlinear Acoustics, Academic Press, California, USA, 1997

Mark Kahrs and Karlheinz Brandenburg Applications of Digital Signal Processing to Audio and Acoustics, Kluwer Academic Publishers, 1998

Mark Katz Capturing Sound, University of California Press, 2010

Mark Urso Podium Perfection – Public Address Systems Demystified, First Kindle Printing, First Edition, 2015

Marshall Long Architectural Acoustics, second edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014

Martin Clifford Microphones, 1986

Martin Neukom Signals, Systems and Sound Synthesis, Deutsche Nationalbibliothek, 2013

Martin Russ Sound Synthesis and Sampling, Focal Press, UK, 3rd edition, 2008

Martin Sitter Apple Pro Training Series: Soundtrack Pro 2, 2007

Martin Trusler Physical Acoustics and Metrology of Fluids, Taylor and Francis Group, New York, 1991

Marty McGee Encyclopedia of Motion Picture Sound, McFarland & Company, Inc. Publishers, 2001

Marvin Camras Magnetic Recording Handbook, Kluwer, 1988

Marvin Frerking DSP in Communication Systems, Kluwer Academic Publishers, 1994

Mason Industries Architectural Specifications for Isolated Floors, Walls and Ceilings Bulletin ACS-100, Hollis, New York **Mason Industries** Complete HVAC Engineering Specifications, An Introduction to Vibration Control Specifications Bulletin VCS-100, Hollis, New York, janeiro de 1979

Mason Industries Mason Jack-Up Floor Slab System Bulletin ACS-101, Hollis, New York
M. Barron The Subjective Effects of First Reflections in Concert Halls - The Need for Lateral Reflections Journal of Sound and Vibration, vol 15, no 4, 1971

M. B. Gardner Some Single and Multiple Source Localization Effects Journal of the Audio Engineering Society, vol 21, julho/agosto de 1973

M. B. Gardner e R. S. Gardner Problem of Localization in the Median Plane: Effects of Pinnae Cavity Occlusion Journal of the Acoustical Society of America, vol 53, no 2, 1973

M. C. Sprinkle Grützmacher Impedance and Phase Bridge Syn Aud Con Tech Topics, Vol 3, No 1, 1975

M. C. Sprinkle The Gain of Audio Amplifiers Page Engineering Inc., R-1152-0068, julho de 1965

M. C. Sprinkle The Gain of Audio Amplifiers Syn Aud Con Tech Topics, Vol 7, No 7, 1980

M. C. Sprinkle The Ultimate Noise dB Magazine, junho de 1969

M. David Egan Architectural Acoustics, J Ross Publishing Classics, 2007

M. D. Egan Concepts in Architectural Acoustics **Mendel Kleiner** Acoustics of Small Rooms, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014

Mendel Kleiner David Lloyd Klepper and Rendell R Torres, Worship Space Acoustics, J Ross Publishing, 2010

Mendel Kleiner Electroacoustics, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, 2013

M. Engebrestson Directivity of Altec Loudspeakers Altec Tech Letter no 221, 1973

Metric Units of Measure and Style Guide US Metric Association, Inc.

Sugar loaf Star Route, Boulder, CO 80302

M. F. Davis Audio specification and Human Hearing Stereo Review, maio de 1982

M. F. E. Barron The Effects of Early Reflections on Subjective Acoustic Quality in Concert Halls PhD Thesis, University of Southampton, 1974

M. Gander Moving-Coil Loudspeaker Topology as an Indicator of Linear Excursion Capability AES preprint no 1554 (A-4) **M. Glasband** Audio Noise and AC Systems REP Volume 22 No 6

M. Glasband Lifting the Grounding Enigma MIX Magazine, vol 18, no 11, novembro 1994

M. Goldstein e P. Speranza The Quality of US Commercial AC Power IEEE Intelec Conference, 1982

M. Grossman Technician's Guide to Solid-State Electronics Parker Publishing Co., West Nyack, 1976

Michael Brandstein and Darren Ward Microphone Array Signal Processing Techniques and Applications (DSP), Springer, 2001

Michael Ermann Architectural Acoustics Illustrated, John Wiley and Sons, New Jersey, 2015

Michael Ermann Architectural Acoustics Illustrated, published by John Wiley & Sons Inc, Hoboken, New Jersey, 2015

Michael Gayford Microphone Engineering Handbook, 1994

Michael Gough Videoconferencing Over IP Configure, Secure and Troubleshoot, Andrew Williams Publisher, 2006

Michael Howe Acoustics and Aerodynamic Sound, Cambridge University Press, 2014

Michael Moser and Stefan Zimmermann Engineering Acoustics An Introduction to Noise Control, Springer Science Business Media, 2009

Michael Rettinger Studio Acoustics, 1981

Michael Talbot-Smith Sound Engineers Pocket Book, Focal Press, 1995

Michael Talbot-Smith Sound Engineers Pocket Book, Focal Press, 2nd edition, 2013

Michael Vorländer Auralization Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustics Virtual Reality, Springer, 2011

- Michael Wohl** Apple Pro Training Series: The Craft of Editing with Final Cut Pro, 2007
- Michel Chion** Audio-Vision - Sound on Screen, edited and translated by Claudia Gorbman, 1994
- Michel Chion** Sound an Acoslogical Treatise, Armand Colin, 2nd edition, 2016
- Mike Goldsmith** Sound A very Short Introduction, Ashford Colour Press Ltd., Gosport, Hampshire, 2016
- Mike Senior** Mixing Secrets for the Small Studio, Focal Press, 2011
- Mike Sokol** The Acoustic Musician's Guide to Sound Reinforcement and Live Recordings, Prentice Hall, 1997
- MIL-STD-461B**
Electromagnetic Interference Characteristic Requirements for Equipment (abril 1980)
- Mingsian R Bai** Acoustic Array Systems, John Willey & Sons, 2013
- Mitch Gallagher** Acoustic Design for the Home Studio, 2006
- Mitsuko Aramaki and Mathieu Barthet** From Sounds to Music and Emotions: 9th Symposium CMMR 2012, London, UK, Revised, 2013
- Mitsuko Aramaki and Olivier Derrien** Sound and Motion, Mitsuko Aramaki and Olivier Derrien Editors, 2013
- M. J. Crocker e J. Price** CRC Noise and Noise Control, vol I CRC Press, Cleveland, Ohio, 1975
- M. Kaufman e A. H. Seidman** Handbook of Electronics Calculations for Engineers and Technicians McGraw-Hill, New York, 1979
- M. Kobernick** Electrical Injuries - Pathophysiology and Emergency Management Annals of Emergency medicine, no 11, novembro 1982
- M L Munjal** Acoustics of Ducts and Mufflers with Application to Exhaust and Ventilation System Design, 1987
- M. Mardiguian** The ESD Simulator, an EMI Engineers Multi-Faceted Friend EMC Technology, janeiro 1985
- Mook (Japanese)** Stereo Sound, 2006
- Moshe Abeles** Auditory Systems Physiology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1976
- M. Retinger** Acoustical Design and Noise Control Chemical Publishing Co., Inc., New York, 1963
- M. Rettinger** A Live-End Environment for Control Room Loudspeakers dB The Sound Engineering Magazine, vol 14, no 6, junho 1980
- M. Rettinger** Control Room Acoustics dB The Sound Engineering Magazine, vol 11, no 4,

abril 1977

M. Rettinger Control Room Acoustics dB The Sound Engineering Magazine, vol 15, no 10, outubro 1981

M. Rettinger Control Room Acoustics presented at the 57th Convention of the Audio Engineering Society, maio 1972

AES preprint no 1261 (J-1) **M. Retinger** Cost Efficient Sound Insulation dB Magazine, vol 16, no 35, agosto de 1982

M. Rettinger Low-Frequency Slot Absorbers dB The Sound Engineering Magazine, vol 10, no 6, junho 1976

M. Retinger Noise Level Limits in Recording Studios dB the Sound Engineering Magazine, vol 12, no 4, abril de 1978

M. Retinger Sound Installation and Isolation of Floating Floors - Practical Engineering for Wood and Concrete Recording Engineer and Producer, vol 12, no 6, dezembro de 1981

M. Retinger Sound Insulation Design for Buildings Journal of the Acoustical Society of America, vol 56, no 5, novembro de 1984

M. Rettinger Sound Transmission Through Perforated Screens Journal of SMPTE, vol 91, no 12, dezembro 1982

M. Rettinger The LEDE Acoustical Concept letter to the editor - Recording Engineer and Producer, vol 11, no 2, abril 1980

M. Retinger Studio Acoustics Chemical Publishing Co., Inc., New York, 1981

M. R. Schroeder Binaural Dissimilarity and Optimum Ceilings for Concert Halls: More Lateral Sound Diffusion Journal of the Acoustical Society of America, vol 65, no 4, abril 1979

M. R. Schroeder Computers in Acoustics: Symbiosis of an Old Science and a New Tool Journal of the Acoustical Society of America, vol 45, no 5, 1969

M. R. Schroeder Diffuse Sound Reflection by Maximum-Length Sequences Journal of the Acoustical Society of America, vol 57, no 1, janeiro 1975

M. R. Schroeder Improvement of Acoustic Feedback Stability by Frequency Shifting Journal of the Acoustical Society of America, vol 36, setembro de 1964

M. R. Schroeder Models of Hearing Proceedings IEEE, vol 63, setembro 1975

M. R. Schroeder Number Theory in Science and Communication: With Applications in Cryptography, Physics, Biology, Digital Information and Computing Springer-Verlag, New York, 1984

M. R. Schroeder Progress in Architectural Acoustics and Artificial Reverberation: Concert Hall Acoustics and Number Theory Journal of the Audio Engineering Society, vol 32, no 4, abril de 1984

M. Schwartz Information Transmission, modulation and Noise 2ª edição, McGraw-Hill, 1970

M. Spiegel Fourier Analysis, Schaum's Outline Series McGraw Hill Book Co.

M. T. Putnam Recording Studio and Control Room Facilities of Advanced Design Journal of the Audio Engineering Society, vol 8, no 2, abril de 1960

M. T. Putnam The Loudspeaker and Control Room as a Wholly Integrated System Journal of the Audio Engineering Society, vol 31, no 4, abril 1983

M. Uman The Lightning Discharge Academic Press, 1987

M. W. Wasserman Architectural Design for Studio One Sigma Studios dB The Sound Engineering Magazine, vol 15, no 11, novembro 1981

N

Nadine Kroher Acoustic Feedback in Sound Reinforcement Systems Investigating the Larsen Effect, Akademiker Verlag, 2011

National Association of Broadcasters NAB Engineering Handbook 6ª edição, Washington DC, 1975

National Association of Relay Manufacturers Engineer's Relay Handbook 2ª edição, Hayden Book Co., 1969

Neil Muncy Noise Susceptibility in Analog + Digital Processing Systems AES 3930 (I-1)

Neil Muncy e Kenneth Fause Workshop realizado na 97ª Convenção da AES
San Francisco, novembro 1994

Neil Weir Recording Demystified, published by BBK - Blue Bell Knoll, 2016

N. H. Bertram , M. K. Stafford, e D. R. Mills The Print-Through Phenomenon Journal of the Audio Engineering Society, vol 28, no 10, outubro 1980

Nicola Walters Binaural Recording Optimum Recording and Playback – A Literature Review, 2014

Niels Werner Adelman-Larsen Rock and Pop Venues Acoustic and Architectural Design, Springer, 2014

N. I. Ivanov Engineering Acoustics Theory and Practice of Noise Control, 2010

N. M. Cooke e H. F. Adams Basic Mathematics for Electronics McGraw-Hill, New York, 1976

Norman Farr Professional Audio Wiring Practices Reviewed Fantronics Ltd.

N. R. Grossner Transformers for Electronic Circuits 2ª edição, McGraw-Hill, 1983

N. Stato PCM Recorder - A New Type of Audio Magnetic Type Recorder Journal of the

Audio Engineering Society, vol 21, no 7, 1973

NSCA and J B Hall Audio Systems Technology, Level @2, NSCA, 1998

NSCA Audio Systems Technology, Level #1, NSCA, 1st edition, 1998

N. Violette e D. White Electromagnetic Compatibility Handbook Van Nostrand Reinhold

N. W. McLachlan Loudspeakers: Theory, Performance, Testing and Design Dover Publications, New York, 1960

N. W. McLachlan The New Acoustics: A Survey of Modern Development in Acoustical Engineering Oxford University Press, London, 1936

O

O. E. Wiedman Transmission Line in Studios Journal of the Audio Engineering Society, vol 18, abril de 1970

O. Heil Movable Diaphragm Method Flexible Hinge Diaphragm Surround and ElectroAcoustic Transducer with Folded Diaphragm with Intermediate Flexible Portions US Patent 4,056,697, novembro 1977

O. J. Bonello A New Criterion for the Distribution of Normal Room Modes Journal of the Audio Engineering Society, vol 29, no 9, setembro de 1981

O. J. Bonello Acoustical Evaluation and Control of Normal Room Modes Dept. of Research, Solidyne SRL, Buenos Aires **O. Read and e W. L. Welch** From Tin Foil to Stereo, 3ª edição Howard W. Sams, Indianapolis, Ind., 1976

O. Read The Recording and Reproducing of Sound Howard W. Sams, Indianapolis, Ind., 1952

O. W. Eschbach Handbook of Engineering Fundamentals, 2ª edição Wiley, New York, 1952

Owens Corning Fiberglass Co.

Noise Control Manual, 2ª edição Publication 5-BMG-8277-A/B, Toledo, Ohio, junho de 1980

P

P. Abramson, R. Beastro, B. Hobgood e G. Ligon Lightning Surge Suppressor IBM Technical Disclosure Bulletin, 26:6304-6305, maio 1984

Patrick A. Naylor and Nikolay D Gaubitch Speech Dererberation, Springer, 2010

Patrick M. Finelli Sound for the Stage A Technical Handbook, 1989

Paul Filippi and Aime Bergassoli Acoustics Basic Physics Theory and Methods, Focal Press, 1998

Paul Theberge and Kyle Devine Living Stereo Histories and Cultures of Multichannel Sound, Bloomsbury Academic an imprint of Bloomsbury Publishing Inc., 2015

Paul White Basic Live Sound, Antony Rowe Ltd., 2003

Paul White Desktop Digital Audio, Sound on Sound, 2012

Paul White Sound Check for the Performing Musician, SMY – Music Sales Limited, Berners Street, London, W1T 3LJ, 2012

Paul White The SOS Guide to Live Sound, Sound on Sound, 2014

P. B. Brown, G. N. Franz, e H. Moraff Electronics for the Modern Scientist Elsevier Science Publishers, B.V., 1982

P. B. Williams e J. Novak Improvement in Air Suspension Speaker Enclosure with Tube Venting Audio Magazine, novembro 1958

P. B. Williams e J. F. Novak Polystyrene Foam Loudspeaker Cones Audio Magazine, maio 1960

P. D'Antonio e J. H. Konnert The Schroeder Quadratic-Residue Diffuser: Design Theory and Application 74th Convention of Audio Engineering Society, New York AES preprint no 1999 (C-4) **Peabody Noise Control Inc.**

Kinectics Impact and Airborne Noise Control Systems Brochure 13.10/Pe, Dublin, Ohio **Peabody Noise Control Inc., L. Varga** Comparison and Technical Evaluation of Isolation Media Used in Floating Floor Applications Dublin, Ohio **P. E. Sabine** Acoustics and Architecture McGraw-Hill, New York, 1932

Peter Damaske Acoustics and Hearing, Springer, 2008

Peter D'Antonio e J. H. Konnert The Reflection Phase Grating Acoustical Diffuser: Application in Critical Listening and Performing Environments papel técnico apresentado na 12ª ICA, Toronto, Canada, julho de 1986

Peter D'Antonio e J. H. Konnert The Reflection Phase Grating Acoustical Diffuser: Design, Theory and Application Journal of the Audio Engineering Society, vol 32, no 4, abril de 1984

Peter D'Antonio e J. H. Konnert The RFZ /RPG Approach to Control Room Monitoring papel técnico apresentado na 76ª Convenção da Audio Engineering Society, New York, outubro de 1984

AES preprint no 2157

Peter D'Antonio e J. H. Konnert The Role of Reflection Phase Grating Acoustical Diffusers in Critical Listening and Performing Environments papel técnico apresentado na 78ª Convenção da Audio Engineering Society, Anaheim, California, maio de 1985

AES preprint no 2255

- Peter D'Antonio e J. H. Konnert The RPG Reflection Phase Grating Acoustical Diffusor: Applications papel técnico apresentado na 76ª Convenção da Audio Engineering Society, New York, outubro de 1984
- AES preprint no 2156
- Peter D'Antonio e J. H. Konnert** The RPG Reflection Phase Grating Acoustical Diffusor Mix Magazine, vol 8, no 8, agosto de 1984
- Peter D'Antonio, J. H. Konnert e F. Berger** Control Room Design Utilizing a Reflection Free Zone and Reflection Phase Grating Diffusor: A Case Study papel técnico apresentado na 78ª Convenção da Audio Engineering Society, Anaheim, California, maio de 1985
- Peter Haughton and P M Haughton** Acoustics for Audiologists, 2002
- Peter Hodges** An Introduction to Video and Audio measurements, Focal Press, 2004
- P. F. Panter** Modulation, Noise and Spectral Analysis McGraw-Hill, 1965
- Philip Giddings** Audio System Design and Installation Howard W. Sams **Philip M Morse and K Uno Ingard** Theoretical Acoustics, Published by Princeton University Press, 1987
- Philip Newell** Recording Studio Design, Audio Engineering Society, 2011
- Philip Newell** Studio Monitoring Design, 1995
- P. H. Parkin e H. R. Humphreys** Acoustics Noise and Building Praeger, New York, 1958
- Pierre A. Deymier** Acoustic Metamaterials and Phononic Crystals, Springer, 2013
- P. J. Schram editor** The National Electrical Code Handbook National Fire Prevention Association **P. M. Grant** Design Guidelines to EMI Shielding Windows TECKNIT EMI Shielding Products, Cranford, NJ, 1968
- P. M. Kending e R. E. Mueser** Simplified Method for Determining Transducer Directivity Index Journal of the Acoustical Society of America, vol 19, no 4, julho de 1947
- P. M. Morse** Vibration and Sound, 2ª edição McGraw-Hill, New York, 1948
- P. M. Rostek** Avoiding Wiring Inductance Problems Electronic Design, dezembro 1974
- P. Parkin e K. Morgan** Assisted Resonance in the Royal Festival Hall, London: 1965-1969
- Journal of the Acoustical Society of America, vol 48, no 5, 1970
- Professor Jay Beck** Designing Sound Audiovisuyal Aesthetic in 1970 American Cinema, Rutgers University Press, 2016
- P. V. Brüel** Sound Insulation and Room Acoustics Chapman & Hall, 1951
- P. W. Klipsch** A Low-Frequency Horn of Small Dimensions Journal of the Acoustical Society of America, outubro 1941
- P. W. Klipsch** Loudspeaker Horn US Patent 2,537,141 janeiro 1951
- P. W. Klipsch** Modulation Distortion in Loudspeakers Journal of the Audio Engineering

Society, vol 20, no 2, abril 1969

P. W. Klipsch Modulation Distortion in Loudspeakers, Part II Journal of the Audio Engineering Society, vol 18, no 1, fevereiro 1970

R

R. A. Hedeem Compendium of Materials for Noise Control National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH, publication no 80-116, maio de 1980

Ralph Morrison Instrumentation Fundamentals and Applications Willey Interscience, New York, 1984

Ralph Morrison Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation 3ª edição - Wiley Interscience, 1977

Ralph Morrison Noise and the Other Interfering Signals John Wiley & Sons **Ralph Morrison e Warren H. Lewis** Grounding and Shielding in Facilities John Wiley & Sons **Dennis A. Bohn, CTO Rane Corporation** Professional Audio Reference – online document, atualizado em fevereiro de 2016

John Wiley & Sons **Raoul Graumont and John Hensel** Splicing Wire and Fiber Rope, 2013

Rational Acoustics Rational Acoustics Smaart v7 User Guide, 2016

Raven Biederman Basic Live Sound Reinforcement A Practical Guide for Starting Live Audio, Focal Press, 2013

Ray D. Kent Acoustic Analysis of Speech, Delmar Cengage Learning, New York, 2001

R. Berkovitz e K. Gundry Dolby B-Tight Noise Reduction System Audio Magazine, setembro/outubro 1973

R. Blucklein The Audibility of Frequency Response Irregularities Journal of The Audio Engineering Society, vol 29, no 3, março de 1981

R. Bucklein Music, Acoustics and Architecture John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962

R. B. Newman e W. J. Cavanaugh Design for Hearing Progressive Architecture, maio de 1959

RCA Broadcast Equipment Catalog Recommended Wiring Practices **R. C. Heyser** Acoustical Measurement by the Time Delay Spectrometry Journal of the Audio Engineering Society, vol 15, 1967

R. C. Heyser Acoustic Rosetta Stone Audio Magazine, vol 63, no 1, janeiro 1979

R. C. Heyser Alternatives Audio Magazine, vol 62, no 2, fevereiro 1978

R. C. Heyser A Rosetta Stone for Audio Journal of the Audio Engineering Society, vol 22, no 4, maio 1974

R. C. Heyser A View Through Different Windows Audio Magazine, vol 63, no 2, fevereiro 1979

R. C. Heyser Breakthrough in Speaker testing Audio Magazine, novembro de 1973

R. C. Heyser Catastrophe Theory & Its Effect on Audio, Part I, Audio Magazine, vol 63, no 3, março 1979

R. C. Heyser Catastrophe Theory & Its Effect on Audio, Part II Audio Magazine, vol 63, no 4, abril 1979

R. C. Heyser Catastrophe Theory & Its Effect on Audio, Part III Audio Magazine, vol 63, no 5, maio 1979

R. C. Heyser Concepts in the Frequency and Time Domain Response of Loudspeakers Monitor - Proceedings IREE (Australian publication), março 1976

R. C. Heyser Crescendo Test Audio Magazine, vol 60, no 5, maio 1976

R. C. Heyser Determination of Loudspeaker Arrival Times: part I Journal of the Audio Engineering Society, vol 19, outubro de 1971

R. C. Heyser Determination of Loudspeaker Arrival Times: part II Journal of the Audio Engineering Society, vol 19, outubro de 1971

R. C. Heyser Determination of Loudspeaker Arrival Times: part III Journal of the Audio Engineering Society, vol 19, outubro de 1971

R. C. Heyser Energy-Time Test Audio Magazine, vol 60, no 4, junho 1976

R. C. Heyser Fuzzy Alternatives Journal of the Audio Engineering Society, vol 26, no 3, março 1978

R. C. Heyser Geometry of Sound Perception AES preprint no 1009, maio 1975

R. C. Heyser Harmonic Distortion Audio Magazine, vol 60, no 2, fevereiro 1976

R. C. Heyser Hearing vs. Measurement Audio Magazine, vol 62, no 3, março 1978

R. C. Heyser Holomorph Recording AES preprint no 1115, março 1976

R. C. Heyser IM Distortion in Speaker Systems Audio Magazine, vol 60, no 3, março 1976

R. C. Heyser Imprecise Descriptions AES preprint, maio 1978

R. C. Heyser Loudspeaker Phase Characteristics and Time Delay Distortion, part 1 Journal of the Audio Engineering Society, vol 17, 1969

R. C. Heyser Loudspeaker Phase Characteristics and Time Delay Distortion, part 2 Journal of the Audio Engineering Society, vol 17, 1969

R. C. Heyser Some New Audio Measurements AES preprint no 1008, maio 1975

R. C. Heyser Some Useful Graphic Relationships Journal of the Audio Engineering Society, vol 23, no 7, setembro 1976

R. C. Heyser Speaker Test - Impedance Audio Magazine, vol 58, no 10, outubro 1974

R. C. Heyser Speaker Test - Phase Response Audio Magazine, vol 58, no 12, dezembro 1974

R. C. Heyser Speaker Test - Polar Response Audio Magazine, vol 59, no 5, maio 1975

R. C. Heyser Speaker Test - Room Test Audio Magazine, vol 59, no 1, janeiro 1975

R. C. Heyser Square Wave Testing Synergetic - Audio-Concepts Newsletter, 1976

R. C. Heyser The Concept of Distortion Synergetic-Audio-Concepts Newsletter, vol 7, no 4, Summer 1980

R. C. Heyser The Delay Plane, Objective Analysis of Subjective Properties, Part I Journal of the Audio Engineering Society, vol 21, no 9, novembro 1973

R. C. Heyser The Delay Plane, Objective Analysis of Subjective Properties, Part II Journal of the Audio Engineering Society, vol 21, no 10, dezembro 1973

R. C. Heyser The Forum-Polarity Convention Audio Magazine, vol 63, no 9, setembro 1979

R. C. Heyser Time & Frequency in Loudspeaker Measurements Audio Magazine, vol 61, no 7, julho 1977

R. C. Mathes e R. L. Miller Phase Effects in Monaural Perception Journal of the Acoustical Society of America, vol 19, 1947

R. C. Johnsen Wood Effect Unaccounted Contributor to Error Confusion in Acoustics and Audio, 1988

R. Colen Electronic Design Hayden Publishing, New York, 1966

Recording Engineer and Producer, vol. 13, nº6

Sound System Design for the Eugene Performing Arts Center, dezembro 1982.

Reference Data for Radio Engineers Howard W. Sams & Co., Indianapolis, 1975

R. E. Jones How to Design Walls for Desired STC Ratings Sound and Vibration, vol 12, no 8, agosto de 1978

R. E. Reim The World's Most Powerful Sound System Altec Reprint, 1971

Research Council of The Academy of Motion Picture Arts and Science Motion Picture Sound Engineering Van Nostrand Reinhold, New York, 1938

R. E. Taylor Radio Frequency Interference Handbook NASA SP-3067 (N-72-1153-156) **R. F. Allison** The Influence of Room Boundaries on Loudspeaker Power Output Journal of the Audio Engineering Society, vol 22, no 5, junho 1974

R. F. Allison The Sound Field in Home Listening Rooms Journal of the Audio Engineering Society, vol 24, no 1/2, janeiro/fevereiro 1976

R. F. Ancha Eleven Day Sound System for 3225.000 People Journal of the Audio Engineering Society, vol 20, setembro de 1972

- R. G. Brown** Lines, Waves, and Antennas The Ronald Press Co., New York, 1961
- R. H. Bolt e R. B. Newman** Acoustics, Time Saver Standards for Architectural Design Data McGraw-Hill, New York, 1974
- R. H. Golde edit** Lightning
Academic Press, London, volume 1, 1977
- R. H. Golde edit** Lightning
Academic Press, London, volume 2, 1977
- R. Hodas** Tres Virgos - One of the First Examples of a Complete Live-End/Dead-End Control Room Installation Recording Engineer and Producer, vol 13, no 6, dezembro 1982
- R. Holm** Electrical Contacts 4ª edição, Springer-Verlag, Berlin, 1967
- R. H. Small** Closed Box Loudspeaker Systems; Part I: Analysis Journal of the Audio Engineering Society, vol 20, no 10, dezembro 1972
- R. H. Small** Constant Voltage Crossover Network Design Journal of the Audio Engineering Society, vol 19, no 1, janeiro 1971
- R. H. Small** Direct-Radiator Loudspeaker System Analysis Journal of the Audio Engineering Society, vol 20, no 5, junho 1972
- R. H. Small** Phase and Delay Distortion in Multiple Driver Loudspeaker Systems Journal of the Audio Engineering Society, vol 19, no 1, janeiro 1971
- R. H. Small** Vented-Box Loudspeaker Systems Part I Journal of the Audio Engineering Society, vol 21, no 5, junho 1973
- R. H. Small** Vented-Box Loudspeaker Systems Part II Journal of the Audio Engineering Society, vol 21, no 6, julho 1973
- R. H. Small** Vented-Box Loudspeaker Systems Part III Journal of the Audio Engineering Society, vol 21, no 7, agosto 1973
- R. H. Small** Vented-Box Loudspeaker Systems Part IV
Journal of the Audio Engineering Society, vol 21, no 8, setembro 1973
- Richard Boulanger** The CSound Book – Perspectives in Software Synthesis, Sound Design, Signal Processing and Programming, edited by Richard Boulanger, 2000
- Richard Brice** Music Engineering, Butterworth-Heinemann, 2001
- Richard Cabot** Active Balanced Inputs & Outputs Sound & Video Contractor, março 1986, páginas 24-26
- Richard Lyon** Designing for Product Sound Quality, L L Faulkner Founding Editor, 2000
- Richard Mark French** Engineering the Guitar Theory and Practice, 2008
- Rick Notter** Sound Advice, 2008
- R. J. Bobber** Underwater Electroacoustical Measurements Naval Research Laboratory,

Washington D.C., 1970

R. J. Eaton Electric Power Transmission Systems Prentice Hall Inc.

R. J. Mohr Coupling Between Open and Shielded Wire Lines Over a Ground Plane IEEE Transactions on EMC, setembro 1976

R. J. Newman Loudspeaker System Design Utilizing a Sixth-Order Butterworth Response Characteristic Journal of the Audio Engineering Society, julho-agosto 1973

R. L. Williams Component Evaluation for Terminal Protection, paper 5-2B-2

Joint EMP Technical Meeting Proceedings, (distribution limited to US Government agencies only: test and evaluation. Unclassified), setembro 1973

R. MacKenzie Auditorium Acoustics Applied Science Publishers, London, 1975

R. M. LaBreche e L. Mendias Environmental Noise Assessment Lawton em cooperação com o US EPA, Air and Hazardous Materials Division, Oklahoma, abril de 1976

R. M. Mitchell Transient Performance of Loudspeaker Dividing Networks Audio Magazine, janeiro 1964

R. Morley e A. O. Carter First Aid Treatment of Electric Shock Archives of Environmental Health, no 25, outubro 1972

R. Morrison Standard Tape Manual R. K. Morrison Illustrative Materials, Kensington, 1978

Robert Alexander The Inventor of Stereo – The Life and Works of Alan Dower Blumlein, Focal Press, 2000

Robert A. Moog MIDI - Musical Instrument Digital Interface Journal of the Audio Engineering Society, vol 34, no 5, maio 1986

Robert D Corsaro and L H Sperling Sound and Vibration Damping With Polymers ACS Symposium Series, 1990

Robert D. Finch Introduction to Acoustics, 2004

Robert Gordon Middleton Advanced Stereo System Equipment, 1980

Robert Harley Introductory Guide to High Performance Audio Systems, 2007

Robert Istepanian and Milica Stojanovic Underwater Acoustic Digital Signal Processing and Communication Systems, Kluwer Academic Publishers, 2002

Robert L Mott Sound Effects, Butterworth, 2014

Robert L. Mott Sound Effects Radio, TV and Film, 1990

Rod Gervais Home Recording Studio Build it Like the Pros, Stacy L Hiquet Publisher and General Manager, 2010

Roger N. Wright Wire Technology – Process Engineering and Metallurgy, Elsevier, second Edition, 2016

- Roman G. Maev** Acoustic Microscopy Fundamentals and Applications, Wiley-VCH, 2008
- Ronald Wagner** Electrostatic Loudspeakers Design and Construction, 1993
- R. O. Ficchi** Electrical Interference Hayden Book Co, 1964.
- R. O. Ficchi** Practical Design for Electromagnetic Compatibility Hayden Book Co, 1971.
- Ronald B. Standler** An Experiment to Monitor Disturbances on the Mains IEEE Industry Applications Society Conference Proceedings, outubro 1987
- Ronald B. Standler** Protection of Electronic Circuits from Overvoltages Wiley Interscience Publication, 1989
- Ronald B. Standler e A. C. Canike** Mitigation of Mains Disturbances US Air Force Weapons Laboratory Technical Report TR-86-80, agosto 1986
- Ronald G. Aljemian e Albert B. Grundy** Fiber Optics - The New Medium for Audio: A Tutorial Journal of the Audio Engineering Society, vol 30, no 3, março 1990
- Ross G. Cotton edit** Canadian Electrical Code Handbook **Ross Kirk and Andy Hunt** Digital Sound Processing for Music and Multimedia Music Technology, Focal Press, 1999
- R. Pirn** Acoustical Variables in Open Planning Journal of the Acoustical Society of America, vol 49, maio 1971
- R. Richards e G. Nichols** Translating LEDE Control Room Design into Practical Experience presented at the 66th Convention of the Audio Engineering Society, Los Angeles, California, maio 1980
- AES preprint no 1631 (G-3) **R. R. Townsley** Passive Equalizer Design Data Tab Books, Blue Ridge Summit, Penn., 1973
- R. S. Burwen** A Low Noise High-Output Capacitor Microphone System Journal of the Audio Engineering Society, vol 25, no 5, maio 1977
- R. Scott e M. Essigman** Linear Circuits, Part 1
Addison Westey Publishing Co **R. Sherman** EMP Engineering and Design Principles Bell Telephone Laboratories, Whippany, 1975
- R. S. Shankland** Acoustics of Greek Theaters Physics Today, outubro de 1973
- R. Schulein, Shure Brothers, Inc.**
Development Consideration of a Versatile Professional Unidirectional Microphone Journal of the Audio Engineering Society, vol 18, no 1, fevereiro 1970
- R. Stoddard** Theatre and Cinema Architecture: a Guide to Information Sources Gale Research, Detroit, 1978
- R. Story** Converting Tables to Equations Cuts Program Length for Calculators Use Electronics, vol 47, abril de 1974
- R. Todrank** Incorporating Reflection Phase Grating Diffusors on Rear Entrance Spatial

Imaging and Stereo Ambiance Recording Engineer and Producer, vol 15, no 6, dezembro de 1985

R. Tomasetti, Hewlett Packard Co.

Bench Briefs: Switching Power Supplies, novembro 1978/abril 1979

R. Townsley Passive Equalizer Design Data Tab Books, Blue Ridge Summit **Rudy Trubitt** Live Sound for Musicians, Hal Leonard, 1997

R. V. Waterhouse Theory of Howlback in Reverberant Rooms Journal of the Acoustical Society of America, vol 37, maio de 1965

Ryan Gobbe Digital Audio Revealed – Core Concepts Explained, 2015

R. W. B. Stephens e A. E. Bate Acoustics and Vibrational Physics St. Martin's Press, New York, 1966

R. W. Daniels, Ph. D.

Approximation Methods for Electronic Filter Design, McGraw-Hill, New York **R. W. Muncey, A. F. B. Nickson e P. Dubout** The Acceptability of Speech and Music With a Single Artificial Echo Acustica, vol 3, 1953

R. W. Peters US Patent 4,149,032

R. W. Young Sabine Reverberation Equation and Sound Power Calculation Journal of the Acoustical Society of America, vol 31, no 7, julho de 1959

R. Wickersham Enhancement, An Artistic Tool dB Magazine, abril de 1976

S

Salome Voegelin Listening to Noise and Silence, 2010

Sanjaya Maniktala Power Over Ethernet Interoperability Guide, McGraw-Hill Books, 2013

S. Bridges High Q Measurements Confirmed in the Field Syn Aud Con Tech Topics, Vol 3, No 5, 1975

Scientific Data Systems Grounding and Noise Reduction Practices for Instrumentation Systems Scott D Snyder Active Noise Control Primer Modern Acoustics and Signal Processing, editor Robert T Beyer Brown University, Adelaide Australia, 2000

Scott Hunter Starak Live Sound Reinforcement, Bestseller Edition, 1st edition, 2004

Scott L Phillips Beyond Sound, Oxford University Press, 2013

Sean F Wu The Helmholtz Equation Least Squares Methods for Reconstruction and Predicting Acoustic Radiation, Springer, 2014

S. E. Levy Driver Unit for Loudspeakers US Patent 2,858,37, outubro 1958

Shannon Slaton Mixing a Musical: Broadway Theatrical Sound Techniques, Focal Press,

S. H. Linkwitz Active Crossover Networks for Non-Coincident Drivers Journal of the Audio Engineering Society, vol 24, no 1, janeiro/fevereiro 1976

S. Hodge A Bridging Attenuator Box Syn-Aud-Con Newsletter, vol 2, no X, setembro de 1974

Shure Incorporated A Quick Guide to Personal Monitor Systems **Shure Incorporated** Audio Systems for Music Educators **Shure Incorporated** Audio Systems Guide for House of Worship **Shure Incorporated** Audio Systems Guide for Meetings and Conferences **Shure Incorporated** Audio Systems Guide for Theater Performance **Shure Incorporated** Audio Systems Guide for Video and Film Production **Shure Incorporated** Connecting your Devices to a Shure Mixer **Shure Incorporated** DIS Cabling Best Practices **Shure Incorporated** Dual Diaphragm Mic Properties **Shure Incorporated**

Introduction to Home Recording and Podcasting

Shure Incorporated

Introduction to Recording and Sound Reinforcement

Shure Incorporated

Introduction to Wireless Microphone Systems

Shure Incorporated

Introduction to Wireless Systems and PSM for Houses of Worship **Shure Incorporated**
Microphone Techniques for Drums **Shure Incorporated** Microphone Techniques for Live
Sound Reinforcement **Shure Incorporated** Microphone Techniques for Recording **Shure**
Incorporated Microphone and Multitracks **Shure Incorporated** Personal Stage Monitoring
Selection and Operation **Shure Incorporated** Selection and Operation of Audio Signal
Processors **Shure Incorporated** Selection and Operation of Personal Monitor Systems **Shure**
Incorporated Selection and Operation of Wireless Microphone Systems **Shure Incorporated**
Understanding Sound System Design and Feedback Using (ugh!) Math **Shure Incorporated**
Wireless Systems Guide for Antenna Setup **S. I. Hayek** Advanced Mathematical Methods in
Science and Engineering, Marcel Dekker Inc., 2000

Singiresu S. Rao Vibration of Continuous Systems, John Wiley & Sons, 2007

S. Ishii and K. Takahashi Design of Linear Phase Multi-Way Loudspeaker System Audio
Engineering Society, 52nd Convention, outubro 1975

AES preprint no 1059

S. Ishii e T. Mizutani A New Type of Listening Room and Its Characteristics - A Proposal
for a Standard Listening Room presented at the 72nd Convention of the Audio Engineering
Society, outubro 1982

preprint 1887 (B-4) **S. Kinoshita, T. Yoshimi, H. Hamada, e B. Locanthi** Design of a 48
mm Beryllium Diaphragm Compression Driver AES preprint no 1364 (D-9) **S. Letzter e N.**
Webster Noise in Amplifiers IEEE Spectrum, vol 7, no 8, agosto 1970

S. Lucking Designing a Graphic Equalizer Sound International, junho 1980

Solon do Valle Manual Prático de Acústica, editor Música e Tecnologia, 2006

Soren Bech and Nick Zacharov Perceptual Audio Evaluation – Theory, Method and
Application, John Wiley & Sons Ltd., 2006

Sound Research Labs Noise Control in Industry, Van Nostrand Reinhold, 3rd edition,
1990

S. P. Thompson Calculus Made Easy Macmillan, New York, 1937

S. S. Stevens e J. Volkman The Relation of Pitch to Frequency: A Revised Scale
American Journal of Psychology, vol 53, 1940

Stan Gibilisco Audio Demystified, McGraw-Hill Books, 2006

Stanley R. Alten Audio in Media, 2007

Stanley R. Alten Working With Audio, Course Technology, a Part of Cengage Learning,
2011

Stephen B. Pope Turbulent Flows, published by the Press Syndicate of The university of Cambridge, 2000

Stephen Lampen Audio/Video Cable Installer's Pocket Guide, McGraw-Hill Books, 2002

Stephen Macatee Considerations in Grounding and Shielding Audio Devices AES 3916 (I-3) **Stephen Ratcliffe** Sound System, Green Integer Books, 1998

Steven Cohan The Sound of Musicals, edited by Steven Cohan, 2011

Steven Harris How to Achieve Optimum Performance from Delta-Sigma A/D and D/A Converters JAES Volume 41 No 10

Steven L. Gay and Jacob Benesty Acoustic Signal Processing for Telecommunication. Springer, 2000

Steve Placey MIDI Editing in Cubase: Skill Pack, Thomson Course Technology Professional & Technical Reference, 2007

Studio Sound, julho 1979

Digital Audio Discs, Studio Sound, julho 1979.

Studio Sound, julho 1979.

Unidirectional Microphone, US Patent office nº 3,095,484, junho 25, 1963.

Suzan Schmidt Horning Chasing Sound Technology, Culture and the Art of Studio Recording, Philip B Scranton Series Editor, 2013

Syn Aud Con Newsletter vol 5, no 4

Syn Aud Con Tech Topics Vol 11, No 32, inverno 1984

Syn Aud Con Tech Topics Vol 11, No 7, primavera 1984

Syn Aud Con Tech Topics Vol 12, No 1, outono 1984

Syn Aud Con Technical Topics vol 11, no 2

T

T. A. Robinson The Role of Grounding in Eliminating Electronic Interference IEEE Spectrum, julho de 1965

T. C. Amoldussen and L. L Nunnelley Noise in Digital Magnetic Recording, World Scientific Publishing Co. Pte Ltd, 1992

T. D. Rossing The Science of Sound Addison-Wesley, Reading, Mass., 1982

Teachers Edition Designing Sound Systems, BSCS Science, 1999

T. E. Allibone e F. R. Perry Standardization of Impulse-Voltage Testing IEE Journal, março 1936

Ted Brewer and Richard Henderson Understanding Rigs and Rigging, International Marine/Ragged Mountain Press, 1990

Teddy Boyce Introduction to Live Sound Reinforcement The Science, The Art and The Practice, Friesen Press Victoria Canada, first edition, 2014

Telesp - Telecomunicações de São Paulo S/A Manual de Construção de Redes em Prédios **Terry Pennington** Rane Note 110

Rane Corporation **T. G. Leighton** The Acoustic Bubble, Academic press Limited, Oval Road, London, 1994

Thierry Bourbie and Olivier Coussy Acoustics of Porous Media, 1988

Thomas Juth and Frederik Juth The Art of Equalization, editor and proofreader: Frederik Juth, 2016

Thomas M. Hay Differential Technology In Recording Consoles and the Impact of Transformerless Circuitry on Grounding Technique AES preprint no 1723

Thomas M. Hay Studio Powering and Grounding techniques dB Magazine (setembro 1982) **Thomas Rossing** The Science of String Instruments, Thomas Rossing Editor, 2010 edition **T. Houtgast, H. J. M. Steeneken, e R. Plomp** Predicting Speech Intelligibility in Rooms from the Modulation Transfer Function Acustica, vol 46, setembro 1980

T. H. Wiik Transient Distortion Caused by Nonlinearities in Driving Force and Suspension of a Loudspeakers presented at the 56th Convention of the Audio Engineering Society, Paris, março 1977

AES preprint no 1205 (C-6) **Timothy A Dittmar** Audio Engineering 101 A beginner's Guide to Music Production, Focal Press, 2011

Timothy Donaldson Shapes of Sounds, 2008

T. J. Cohen e L. G. McCoy RFI - A New Look at an Old Problem QST (março 1975) **T. J. Schultz** Acoustics of the Concert Hall IEEE Spectrum, vol 2, no 6, junho 1965

T. J. Schultz Concert Hall Tour of North America, monograph by Bolt Beranek and Newman Cambridge, Massachusetts, outubro 1980

T. J. Schultz Problems in the Measurements of Reverberation Time Journal of the Audio Engineering Society, vol 11, no 4, outubro de 1963

T. J. Schultz The Design of Concert Halls Forum, University of Houston, vol 14, no 2/3, Summer/Fall 1976

T. J. Schultz e B. G. Watters Propagation of Sound Across Audience Seating Journal of the Acoustical Society of America, vol 36, no 9, maio 1964

T. N. Bhar e E. J. McMahon Electrostatic Discharge Control Hayden Book Co., 1983

Tom McCartney Recording Studio Technology, McGraw-Hill Books, 2003

Tomlinson Holman 5.1 Surround Up and Running, Focal Press, 1999

Tomlinson Holman Sound for Film and Television, Focal Press, 2002

- Tomlinson Holman** Sound for Film and Television, Focal Press, 2nd edition, 2010
- Tomlinson Holman** Surround Sound, Focal Press, 2nd edition, 2008
- Tony Moscal** Sound Check, Hal Leonard, 1994
- Tony Zaza** Mechanics of Sound Recording, 1991
- Tor Erik Vigran** Building Acoustics, Taylor & Francis Publishers, first edition, 2008
- T. Paine** A Novel Modular Construction Technique for dB Recording Studios, Florida Recording Engineer and Producer, vol 13, no 4, agosto 1982
- Transactions of The American Institute Of Electrical Engineers, Volume XXXVIII**
- Trevor J Cox** Acoustic Absorbers and Diffusers Theory, Design and Application, Taylor & Francis, 2009
- T. R. Haskket** Removing the Mystery from Grounding Broadcast Engineering, vol 8, fevereiro 1966
- T. R. Smith** Acoustics in Relation to Architecture and Building: The Laws of Sound as Applied to the Arrangement of Buildings Crosby Lockwood and Co., London, 1861
- T. Somerville e F. L. Ward** Investigation of Sound Diffusion in Rooms by Means of a Model Acustica, vol 1, no 1, 1951
- T. T. Doi** Channel Codings for Digital Audio Recordings Journal of the Audio Engineering Society, vol 31, no 4, abril 1983
- T. T. Doi** General Information on a Compact Digital Audio Disc Journal of the Audio Engineering Society, vol 29, no 1/2, 1981
- T. Uzzle** Acoustics and Electroacoustics of the Cinema Theatre read before the 100th meeting of the Acoustical Society of America, novembro 1980
- T. Uzzle** Loudspeaker Coverage by Architectural Mapping AES preprint no 1786 (G-3), maio 1981
- T. Uzzle e R. Sinclair** Sound Transmission of Perforated Theatre Screens: a Preliminary Study read before the 69th meeting of the Audio Engineering Society, maio 1981
- T. V. Argyros** Grounding Systems for Telecommunications Briddle Instruments / Blue Bell Penn
- T. W. Liao e T. H. Lee** Surge Suppressors for the Protection of Solid State Devices IEEE Transactions on Industry General Application, 2, janeiro 1966
- T. Wroblewski** Voltage Regulating Transformers US Patent 4.075.547, fevereiro 1978
- T. W. Wu** Boundary Element Acoustics Fundamentals and Computer Codes, WIT Press, 2000

U

- U. Ingard e R. H. Bolt** Absorption Characteristics of Acoustic Material With Perforated

Facings Journal of the Acoustical Society of America, vol 23, no 5, setembro 1951

Underwriters Laboratory (UL) Standard 1283

Electromagnetic Interference Filters 2ª edição, revisada, fevereiro 1986

Underwriters Laboratory (UL) Standard 1414

Across the Line, Antenna Coupling, and Line Bypass Capacitors for Radio and Television Type Appliances 3ª edição, abril 1982

US Department of Commerce Guideline on Electrical Power for ADP Installations FIPS Publication, novembro 1994

US Department of Defense Military Standard 188-124

Grounding, Bonding and Shielding for Common Long Haul/Tactical Communications Systems, junho 1978

US Department of Defense Military Handbook 419

Grounding, Bonding and Shielding for Electronic Equipment and Facilities, janeiro 1982

V

Vance Dickason Loudspeaker Recipes, 1994

V. Antoine Guidance for Using the Metric System (SI Version) Society for Technical Communication, Washington DC, 20005

Velimir M. Ristic Principles of Acoustic Devices. 1983

Verda Beth Martell and Eric C Martell The Physics of Theater – Mechanics, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015

Vern O. Knudsen Architectural Acoustics Willey, New York, 1950

V. Hall Area Covered by Ceiling Mounted Loudspeakers and Number Required for Even Distribution Syn Aud Con Newsletter, vol 1, no 4, 1974

Victoria Meyers Shape of Sound, Artifice Books on Architecture, 2014

Victoria Newhouse Site and Sound – The Architecture and Acoustics of New Opera Houses and Concert Halls, Monaceli Press New York, 2012

V. Kübel

Characteristics and Application of Radio Interference Suppression Filters with Current Compensated Chokes Components Report, 10, outubro 1975

Vladimir P Sergienko and Sergey N Bukharov Noise and Vibration in Friction Systems, Springer Cham Heidelberg, New York, 2014

V. M. Albers The World of Sound Barnes, New York, 1970

V. M. Peutz Articulation Loss of Consonants as a Criterion for Speech Transmission in a Room Journal of the Audio Engineering Society, vol 19, dezembro de 1971

V. M. Peutz Designing Sound Systems for Speech Intelligibility Papel técnico apresentado na 48ª Convenção da Audio Engineering Society, Los Angeles, maio de 1974

AES preprint no 956 (J-1) **V. M. Peutz** Speech Reception and Information Syn Aud Con Tech Topics, vol 5, no 12, 1978

V. O. Knudsen e C. M. Harris Acoustical Designing in Architecture Acoustical Society of America, New York, 1978

Volpe National Transportation System Center Sound Generation by Aircraft Vortices, 2013

V. S. Mankovsky Acoustics of Studios and Auditoria Hasting House, Communications Arts Book, New York, 1971

V. V. Furduev Limiting Amplification of Sound in Closed Rooms Soviet Physics Acoustics, vol 11, janeiro/março de 1966

V. V. Furduev Stability of Stereophonic Amplification Systems Soviet Physics Acoustics, vol 13, abril/junho de 1968

W

Walter G Jung IC Op-AMp Cookbook, 1986

Walter L Welch and Leah Brodbeck From tinfoil to Stereo The Acoustic Year of the Recording Industry, 1994

Walt Jung e Adolfo Garcia Op Amps in Line-driver and Receiver Circuits, part 2
Analogue Dialog Volume 27 No 1

Walt Kester edit Analog Devices Systems Application Guide - Analog Devices **W. A. Müller** Audience Noise as a Limitation to the Permissible Volume Range of Dialogue in Sound Motion Pictures Journal of the SMPTE, vol 35, no 1, julho 1940

W. A. van Berjejik, J. R. Pierce e E. David Jr.

Waves and the Ear Anchor Books, Doubleday & Co., Inc., New York, 1960

W. B. Snow Application of Acoustical Engineering Principles to Home Music Rooms IRE Transactions on Audio, novembro/dezembro 1957

W. B. Snow Basic Principles of Stereophonic Sound Journal of The Society of Motion Picture and Television Engineers, vol 61, novembro de 1953

W. B. Snow Effects of International Interference With Speech Intelligibility Journal of the Audio Engineering Society, vol 17, janeiro de 1969

W. B. Snow Frequency Characteristics of a Sound Reinforcement System Journal of the Audio Engineering Society, vol 3, abril de 1955

W. Cathy e R. Keith Coupling Reduction in Twisted Wires IEEE International Symposium

on EMC, Boulder Colo, agosto 1981

W. C. Johnson Transmission Lines and Networks McGraw-Hill, 1950

W. D. Orcut Wallace Clement Sabine: A Study in Achievement Plinton Press, Norwood, Mass., 1933

W. E. Kock Seeing Sound Willey, New York, 1976

W. E. Kock e F. K. Harvey Reflecting Sound Waves Journal of the Acoustical Society of America, setembro 1949

W. E. Purcell Materials for Noise and Vibration Control Sound and Vibration, vol 10, no 7, julho 1976

Western Electric Co., Radio Division Sound Systems Western Electric Co., 1947

W. Gellert, H. Küstener, M. Hellwich, e H. Kästner The VNR Concise Encyclopaedia of Mathematics Van Nostrand Reinhold, New York, 1967

W. G. Jung e R. Março Picking Capacitors Audio Magazine, março 1980

W. G. Kutzavitch A Tutorial on Equipment Effects of Electrostatic Discharge Papel Não Publicado **W. H. Buchsbaum** Encyclopedia of Integrated Circuits: A Practical Handbook of Essential Reference Data Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1981

W. H. Hayt Jr.

Engineering Electromagnetics 3ª edição - McGraw-Hill, 1974

White Electromagnetics, Inc.

A Handbook on Electrical Filters - Synthesis, Design and Applications, 1963

William A. Sethares Tuning, Timbre, Spectrum, Scale, Springer, 2004

William F. Hosford Fundamentals of Engineering Plasticity, Cambridge University Press, New York, NY, 2013

William J. Cavanaugh and Gregory C Tocci Architectural Acoustics Principles and Practice, John Wiley & Sons, New Jersey, 2009

William M. Hartmann Principles of Musical Acoustics Undergraduate Lecture Notes in Physics, Springer, 2013

Wire Rope Technical Board Wire Rope Sling User Manual, 2007

Wire Rope Technical Board Wire Rope User Manual, Fourth Edition, 2005

W. Isemberg The Ins and Outs of Buffer Amplifiers Sound And Video Contractor, agosto 1984

W. J. Cavanaugh, W. R. Farrell, P. W. Hirtle, e B. G. Watters Speech Privacy in Buildings Journal of the Acoustical Society of America, vol 34, abril 1962

W. J. Cunningham Non-Linear Distortion in Dynamic Loudspeaker Due to Magnetic Effects Journal of the Acoustical Society of America, vol 21, no 3, maio 1949

W. J. Kessler Vector Impedance Determination with a Simple Electronic Voltmeter Syn Aud Con Tech Topics Vol 2, No 4, 1975

W. J. Trott Effective Acoustic Center Redefined Journal of the Acoustical Society of America, vol 62, agosto de 1977

W. K. Connor Experimental Investigation of Sound System Room Feedback Journal of the Audio Engineering Society, vol 21, janeiro de 1973

W. K. Connor Theoretical and Practical Consideration in the Equalization of Sound Systems Journal of the Audio Engineering Society, vol 15, abril de 1967

W. Klein Articulation Loss of Consonants as a Basis for the Design and Judgment of Sound Reinforcement Systems Journal of the Audio Engineering Society, vol 19, dezembro de 1971

W. Leach Jr.

The Differential Time-delay Distortion and Differential Phase-Shift Distortion as Measures of Phase Linearity JAES Volume 37 No 9

W. L. Stutzman e G. A. Thiele Antenna Theory and Design Wiley, New York, 1981

W. L. Weeks Electromagnetic Theory and Engineering Applications Wiley, New York, 1964

W. M. Leach Building a Pre-Preamp Audio Magazine, fevereiro 1978

Wolfgang Anhert and Frank Steffen Sound Reinforcement Engineering, E & FN Spon, London, 1999

W. R. Bennett Characteristics and Origins of Noise, part I Electronics, vol 29, março 1956

W. R. Bennet Electrical Noise McGraw-Hill, New York, 1960

W. R. Bevan, R. B. Schulein e C. E. Seeler (Shure Brothers, Inc.) Design of a Studio-Quality Condenser Microphone Using Electret Technology Journal of the Audio Engineering Society, vol 26, no 12, dezembro 1978.

W. R. Kunder e A. P. G. Peterson Spectrum Analysis of Stationary Noise signals Sound Vibration, junho de 1969

W. Rudmose Equalization of Sound Systems Noise Control, vol 24, julho de 1958

W. S. Rhode Observations on the Vibrations of the Basilar Membrane in Squiered Monkeys Using the Mossbauer Technique Journal of the Acoustical Society of America, vol 49, no 4, abril de 1972

W. Symmes Simplified Method of calculating PAG/NAG Formulas Without Use of Logs Syn Aud Con Tech Newsletter, vol 1, no 2, 1973

W. Z. Wysotsky Wide-Screen Cinema and Stereophonic Sound Focal Press, New York, 1971

W. W. Everett Jr.

Topics in Intersystem Electromagnetic compatibility Holt, Reinhart and Winston Inc.

W. W. Mumford e E. H. Scheibe Noise Performance Factors in Communication Systems
Horizon House, Dedham, 1969

Y

Y. A. Indlin e V. V. Furduev Regenerative Reverberation Associated with Sound Amplification in Closed Rooms Soviet Physics Acoustics, vol 14, outubro/dezembro de 1968

Y. Ando Calculation of Subjective Preference at Each Seat in a Concert Hall Journal of the Acoustical Society of America, vol 74, no 3, setembro 1983

Y. Ando e D. Gottlob Effects of Early Multiple Reflections on Subjective Preference Judgments of Music Sound Fields Journal of the Acoustical Society of America (letter to the Editor), vol 65, fevereiro de 1979

Yang-Hann Kim Sound Propagation An Impedance Based Approach, John Wiley & Sons Clement Loop, 2010

Y. Ishigaki, M. Yamamoto, K. Totsuka e N. Miyaji (Victor Company of Japan, Ltd.) Zoom Microphone AES preprint no 1718 (A-7) **Yoichi Ando and Peter Cariani** Auditory and Visual Sensations, Springer, 2009

Y. Yuasa e S. Greenberg The Beryllium Dome Diaphragm - Its Use, Manufacture, and Importance in Loudspeaker Systems AES Preprint no 1087 (L-6) Z

Z. Maekawa and Jens H. Rindel Environmental and Architectural Acoustics, Taylor and Francis e-Library, 2011

SOBRE O AUTOR

Luiz Fernando Otero Cysne é engenheiro eletrônico especialidade telecomunicações e bacharel em administração de empresas. Possui mestrado em acústica arquitetônica e doutorado em física. Tem graduação em engenharia de áudio e concluiu inúmeros cursos de pós-graduação em diversas áreas, correlatas e não correlatas.

Atualmente Cysne é o principal da Cysne Engineering e consultor internacional de áudio e de setores como acústica, vídeo, automação, vídeo e teleconferência e outras.

A larga experiência de Cysne em projetos e instalações de sistemas de sonorização e áreas afim vem da dedicação contínua de mais de quatro décadas que o profissional dedica a esses segmentos do mercado, corroborada por centenas de sistemas operacionais e bem sucedidos implantados em inúmeros países ao redor de todo o mundo.

Articulista das principais revistas especializadas do País e do exterior, Cysne é mentor e professor do pioneiríssimo Curso de Áudio Profissional, realizado no Haras, em São Paulo.

Membro de várias entidades e comunidades científicas a exemplo da Audio Engineering Society, da Acoustical Society of America e de outras, há anos Cysne vem proferindo palestras técnicas no Brasil e no exterior.

Além deste trabalho específico, Cysne escreveu outros livros e, com os honrosos patrocínios da Ciclotron e da Selenium, elaborou o único programa completo de treinamento auditivo escrito em português, o EASY.

Ao longo de sua carreira Cysne projetou e desenvolveu uma enorme variedade de produtos eletrônicos e acústicos. Os mais recentes destes foram os fantásticos componentes (caixas acústicas de três vias, subwoofers e caixas acústica satélite) que integram a Linha Line-Array LUFT, com várias instalações já concluídas.

Mais detalhes sobre o currículo de Cysne e informações pertinentes adicionais constam do site:

www.lcysne.com

INFORMAÇÕES SOBRE OS PRÓXIMOS LANÇAMENTOS

Para receber informações sobre nossos lançamentos, cadastre seu email em nosso site:

www.ciadoebook.com.br